

# INFORME FINAL

**Programa Universitario de Investigación en Recursos Naturales -PUIRNA-**

(nombre del programa universitario de investigación de la Digi)

**Evaluación de contaminantes emergentes en el ecosistema acuático del Canal de Chiquimulilla y la Reserva de Usos Múltiples Monterrico.**

nombre del proyecto de investigación

**B15-2021**

código del proyecto de investigación

**Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia**

unidad académica o centro no adscrito a unidad académica avaladora

**Bessie Evelyn Oliva Hernández  
María de los Ángeles Rosales Melgar  
Gabriela Regina Quevedo López  
Marvin Geraldo Xajil Sabán**

nombre del coordinador del proyecto y equipo de investigación contratado por Digi

**Guatemala, 28 de febrero de 2022**

lugar y fecha de presentación del informe final dd/mm/año

## Autoridades

Dr. Hugo René Pérez Noriega  
Director General de Investigación

Ing. Agr. MARN Julio Rufino Salazar  
Coordinador General de Programas

Nombre Coordinador(a) del Programa de Investigación

## Autores

Nombre del **coordinador** del proyecto: Bessie Evelyn Oliva Hernández

Nombre del **investigadora**: María de los Ángeles Rosales Melgar

Nombre del **auxiliar de investigación II**: Gabriela Regina Quevedo López  
Marvin Geraldo Xagil Sabán

## Colaboradores

Juan Francisco Pérez Sabino: Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia  
Manuel Alejandro Muñoz Wug: Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia  
María Gabriela Chaulón Velez: Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia  
Francis Mariel Santos Ruiz: Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia  
Pedro Pablo Molina Jauregui: Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia  
Carlos Humberto Mazariegos Ortiz: Centro de Estudios Marinos y Acuáticos -CEMA-

Universidad de San Carlos de Guatemala, Dirección General de Investigación (Digi), 2021. El contenido de este informe de investigación es responsabilidad exclusiva de sus autores.

Esta investigación fue cofinanciada con recursos del Fondo de Investigación de la Digi de la Universidad de San Carlos de Guatemala a través de del código **B15-2021** en el Programa Universitario de Investigación en Recursos Naturales -**PUIRNA**-.

Los autores son responsables del contenido, de las condiciones éticas y legales de la investigación desarrollada.



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Dirección General de Investigación



## INFORME FINAL

### Índice General

	<b>Contenido</b>	<b>Página</b>
	Índice General	3
	Índice de Cuadros	5
	Índice de Figuras	7
1.	Resumen y Palabras clave	8
	Abstract and keyword	8
2.	Introducción	9
3.	Planteamiento del problema	10
4.	Delimitación en tiempo y espacio	11
	4.1 Delimitación en tiempo	11
	4.2 Delimitación espacial	11
5.	Marco Teórico	12
	5.1 Parámetros físicos, químicos y microbiológicos	12
	5.2 Metales tóxicos bioacumulables	13
	5.3 Microplásticos	16
6.	Estado del arte	17
	6.1 Procesos de bioacumulación	17
	6.2 Metales tóxicos	18
	6.3 Microplásticos	18
7.	Objetivos	20
	7.1 Objetivo General	20
	7.2 Objetivos Específicos	20
8.	Hipótesis	21
9.	Materiales y Métodos	21
	9.1 -Enfoque de la Investigación	21
	9.2 Método	21
10.	Recolección de la Información	24
11.	Técnicas e instrumentos	24
12.	Procesamiento y análisis de la información	25
13.	Resultados y discusión	26
	13.1 Resultados	26
	13.1.1 Resultados de parámetros físicos y químicos	26
	13.1.2 Resultados de nutrientes, especies de nitrógeno y fósforo	30
	13.1.3 Resultados de demanda bioquímica de oxígeno -DBO-	33
	13.1.4 Resultados de sólidos	33
	13.1.5 Resultados de parámetros microbiológicos	35

13.1.6	Resultados de metales	37
13.1.7	Resultados de microplásticos	39
13.2	Discusión de resultados	56
13.2.1	Discusión de parámetros físicos y químicos	56
13.2.2	Discusión de nutrientes, especies de nitrógeno y fósforo	58
13.2.3	Discusión de demanda bioquímica de oxígeno	60
13.2.4	Discusión de sólidos	61
13.2.5	Discusión de parámetros microbiológicos	61
13.2.6	Discusión de metales	62
13.2.7	Discusión de microplásticos	62
14.	Referencias	64
15.	Apéndice	67
16.	Aspectos éticos y legales	74
17.	Vinculación	74
18.	Estrategia de difusión, divulgación y protección intelectual	75
19.	Aporte de la propuesta de investigación a los ODS	75

**Índice de cuadros**

Cuadro 1. Límites máximos de tolerancia para metales en tejido muscular de peces de consumo humano en peso fresco	12
Cuadro 2. Relación entre la concentración de fósforo total y la clasificación trófica de un cuerpo de agua	15
Cuadro 3. Coordenadas de sistema de posicionamiento global, para los 10 sitios de muestreo en el Canal de Chiquimulilla y Reserva Natural de Usos Múltiples Monterrico	21
Cuadro 4. Potencial de hidrógeno -pH- medido en agua en 10 sitios de muestreo ubicados en el Canal de Chiquimulilla y Reserva Natural de Usos Múltiples Monterrico, medidos durante el año 2021 y 2022	26
Cuadro 5. Potencial de Óxido Reducción -ORP- medidos en agua en el Canal de Chiquimulilla y Reserva Natural de Usos Múltiples Monterrico, en 10 sitios de muestreo, durante 2021 y 2022	26
Cuadro 6. Temperatura en grados centígrados en los sitios de muestreo ubicados en el Canal de Chiquimulilla y Reserva Natural de Usos Múltiples Monterrico, medidos durante el año 2021 en 10 sitios de muestreo	27
Cuadro 7. Oxígeno disuelto en mg/L medido en 10 sitios de muestreo ubicados en la región del Canal de Chiquimulilla y Reserva Natural de Usos Múltiples Monterrico, durante el 2021	27
Cuadro 8. Oxígeno en porcentaje medido en los 10 sitios de muestreo ubicados en el Canal de Chiquimulilla y Reserva de Usos Múltiples Monterrico, durante el 2021	28
Cuadro 9. Conductividad en mS/cm en 10 sitios de muestreo ubicados en el Canal de Chiquimulilla y Reserva Natural de Usos Múltiples Monterrico, medidos durante el 2021	28
Cuadro 10. Visibilidad en metros de los sitios de muestreo ubicados en el Canal de Chiquimulilla y Reserva Natural de Usos Múltiples Monterrico, durante el 2021	29
Cuadro 11. Profundidad en metros de 10 sitios de muestreo ubicados en el Canal de Chiquimulilla y Reserva Natural de Usos Múltiples Monterrico, durante el 2021	29
Cuadro 12. Nitrógeno de amonio medido en 10 sitios de muestreo ubicados en el Canal de Chiquimulilla y la Reserva Natural de Usos Múltiples Monterrico, durante el 2021	30
Cuadro 13. Nitrógeno de nitrito medidos en 10 sitios de muestreo ubicados en el Canal de Chiquimulilla y Reserva Natural de Usos Múltiples Monterrico, durante el 2021	30
Cuadro 14. Nitrógeno total medido en 10 sitios de muestreo ubicados en el Canal de Chiquimulilla y Reserva Natural de Usos Múltiples Monterrico, durante 2021	31
Cuadro 15. Fósforo de ortofosfatos medidos en 10 sitios de muestreo ubicados en el Canal de Chiquimulilla y Reserva Natural de Usos Múltiples Monterrico, durante 2021 y 2022	31

Cuadro 16. Fósforo total medido en 10 sitios de muestreo ubicados en el Canal de Chiquimulilla y Reserva de Usos Múltiples Monterrico, durante el 2021	32
Cuadro 17. Relación entre el promedio de fósforo total y nitrógeno total de los sitios de muestreo ubicados en el Canal de Chiquimulilla y Reserva de Usos Múltiples Monterrico, durante el 2021	32
Cuadro 18. Demanda bioquímica de oxígeno -DBO- medida en 10 sitios de muestreo ubicados en el Canal de Chiquimulilla y Reserva de Usos Múltiples Monterrico, durante 2021	333
Cuadro 19. Sólidos sedimentables medidos en 10 sitios de muestreo ubicados en el Canal de Chiquimulilla y Reserva de Usos Múltiples Monterrico, durante el 2021 y 2022.	33
Cuadro 20. Sólidos suspendidos medidos en 10 sitios de muestreo ubicados en el Canal de Chiquimulilla y Reserva Natural de Usos Múltiples Monterrico, durante 2021	34
Cuadro 21. Sólidos disueltos medidos en 10 sitios de muestreo ubicados en el Canal de Chiquimulilla y Reserva Natural de Usos Múltiples Monterrico, durante 2021	34
Cuadro 22. Sólidos totales medidos en 10 sitios de muestreo ubicados en el Canal de Chiquimulilla y Reserva de Usos Múltiples Monterrico, durante 2021 y 2022	35
Cuadro 23. Coliformes totales medidos en 10 sitios de muestreo ubicados en el Canal de Chiquimulilla y Reserva Natural de Usos Múltiples Monterrico, durante 2021	35
Cuadro 24. <i>Escherichia coli</i> medida en 10 sitios de muestreo ubicados en el Canal de Chiquimulilla y Reserva Natural de Usos Múltiples Monterrico, durante 2021	36
Cuadro 25. <i>Shigella</i> medida en 10 sitios de muestreo, ubicados en el Canal de Chiquimulilla y Reserva de Usos Múltiples Monterrico, durante 2021	36
Cuadro 26. Salmonella medida en sitios de muestreo ubicados en el Canal de Chiquimulilla y Reserva Natural de Usos Múltiples Monterrico, durante 2021	37
Cuadro 27. Concentración de metales en peces colectados en el Canal de Chiquimulilla y Reserva de Usos Múltiples Monterrico, durante el 2021	37
Cuadro 28. Microplásticos identificados en muestras de sedimento colectadas en el Canal de Chiquimulilla y Reserva Natural de Usos Múltiples Monterrico, durante el 2021	39
Cuadro 29. Determinación de microplásticos encontrados en tractos digestivos de peces colectados en el Canal de Chiquimulilla y Reserva Natural de Usos Múltiples Monterrico, durante 2021	41
Cuadro 30. Determinación de microplásticos en branquias de peces colectados en la región del Canal de Chiquimulilla y Reserva Natural de Usos Múltiples Monterrico, durante el 2021	45
Cuadro 31. Registro de variables biológicas de organismos colectados en el Canal de Chiquimulilla y Reserva Natural de Usos Múltiples Monterrico, durante 2021	50

## Índice de Figuras

Figura 1. Mapa de ubicación de los sitios de muestreo ubicados en el Canal de Chiquimulilla y Reserva Natural de Usos Múltiples Monterrico	22
Figura 2. Reporte de promedio de días de lluvia por mes y promedio de lluvias durante el año 2021, reportado por INSIVUMEH	68
Figura 3. Precipitación media ocurrida durante la época lluviosa en el mes de octubre de 2021, en Guatemala, Guatemala	68
Figura 4. Microplásticos encontrados en muestras de sedimento colectadas en el Canal de Chiquimulilla y Reserva Natural de Usos Múltiples Monterrico	69
Figura 5. Identificación, toma de medidas biométricas y almacenamiento de peces para su posterior análisis	71
Figura 6. Toma de muestras de agua, sedimento y peces en el Canal de Chiquimulilla y Reserva Natural de Usos Múltiples Monterrico	72
Figura 7. Proceso de digestión de muestras de peces, en bombas de teflón y baño de arena	73

## 1 Resumen y palabras claves

El canal de Chiquimulilla y la Reserva Natural de Usos Múltiples Monterrico (RNUM), presentan gran importancia para el país como barrera de protección para especies acuáticas y una fuente de alimento para la población. Una de las amenazas importantes para el ecosistema es la contaminación del agua, al recibir las aguas residuales de la parte norte de la vertiente Pacífica de Guatemala, que transporta microplásticos y el agua de escorrentía de tierras agrícolas de la costa sur.

Para evaluar la contaminación del ecosistema se determinaron microplásticos, fármacos y metales tóxicos en agua, sedimentos y peces del Canal de Chiquimulilla. Los metales se analizaron por espectrofotometría de absorción atómica de llama en tejido muscular de 62 peces, encontrándose cobre (22.21 mg/kg), zinc (11.37 mg/kg), cadmio (5.59 mg/kg) y el plomo no se detectó. Se encontraron microplásticos en sedimentos, correspondiendo a 53 fragmentos, 28 fibras, 5 láminas, 9 microesferas y 2 espumas. Se encontraron microplásticos en los tractos de los peces colectados correspondiendo a fibras, habiéndose cuantificado 43 unidades. En orden descendente, se encontraron 26 fragmentos y 18 láminas. El color predominante en las fibras colectadas fue azul con 18 unidades, 11 rojas y 11 transparentes. El color predominante en los fragmentos fue rojo (13), azul (6) y transparente opaco (6). Las láminas rojas fueron las predominantes con 16 piezas.

Los resultados evidencian el deterioro ambiental del canal de Chiquimulilla y la Reserva de Usos Múltiples Monterrico, necesitándose la atención por parte de las instituciones responsables de la calidad ambiental.

**Palabras clave:** Peces, bioacumulación, contaminación, microplásticos, metales pesados.

Abstract and keyword

### Abstract and keyword

The Chiquimulilla canal and the Monterrico Multiple Use Natural Reserve (RNUM), are of great importance to the country as a protection barrier for aquatic species and a source of food for the population. One of the important threats to the ecosystem is water pollution, because of the receiving wastewater from the northern part of the Guatemalan Pacific slope, which transports microplastics, and runoff water from agricultural land on the southern coast.

To evaluate the contamination of the ecosystem, microplastics, pharmaceuticals and toxic metals were determined in the water, sediments and fish of the Chiquimulilla Canal. Metals were analyzed by flame atomic absorption spectrophotometry in muscle tissue of 62 fish, finding copper (22.21 mg/kg), zinc (11.37 mg/kg), cadmium (5.59 mg/kg), and lead was not detected. Microplastics were found in sediments, corresponding to 53 fragments, 28 fibers, 5 sheets, 9 microspheres and 2 foams. Microplastics were also found in the tracts of the collected fish corresponding to fibers (43 units),

fragments (26) and blades (18). The predominant color in the collected fibers was blue with 18 units, 11 red and 11 transparent. The predominant color in the fragments was red (13), blue (6) and opaque transparent (6). The red sheets were the predominant with 16 pieces.

The results show the environmental deterioration of the Chiquimulilla canal and the Monterrico Multiple Use Reserve, requiring the attention of the institutions responsible for environmental quality.

**Keywords:** Fish, bioaccumulation, contamination, microplastics, heavy metals.

## 2 Introducción

El Canal de Chiquimulilla, ubicado en los departamentos de Santa Rosa y Escuintla, presta diferentes servicios ambientales a la población de estos departamentos, entre los que pueden mencionarse los atractivos para el turismo, fuente de agua, la producción de alimentos, así como el transporte. Sin embargo, este cuerpo de agua se ve afectado por diferentes presiones de las poblaciones humanas que ocasionan la contaminación de los ríos que lo abastecen, que transportan metales, microplásticos y otros contaminantes desde la ciudad de Guatemala y otras poblaciones de la costa Sur. Así mismo, la agricultura extensiva que se realiza en la región, para la cual se utilizan diferentes agroquímicos, contribuye para la contaminación por nutrientes y plaguicidas. La contaminación también es local, ya que diferentes poblados descargan sus aguas residuales directamente al canal, generando contaminación por nutrientes y bacteriológica.

En estudios anteriores se han encontrado niveles de nutrientes elevados en el Canal de Chiquimulilla, (Oliva et al., 2007), como consecuencia de las descargas de aguas residuales y del transporte por ríos y escorrentía. Por su parte, los contaminantes emergentes están constituidos por un grupo de compuestos que han sido desarrollados por el ser humano, y que han llegado a los cuerpos de agua desde hace décadas sin que se les hubiera puesto atención. Dentro de estos compuestos se encuentran los microplásticos y los productos farmacéuticos.

Los microplásticos están constituidos principalmente por partículas producto de la degradación de productos plásticos de mayor tamaño y pueden clasificarse según su forma y su composición. Los fármacos por su parte se han liberado al medio ambiente desde los años 1950, encontrándose en el agua, sedimentos y organismos acuáticos (Thiebault et al., 2017). Estos contaminantes no se eliminan en los tratamientos tradicionales de las aguas residuales o del agua potable (Li & Lin, 2017). Anteriormente se han reportado niveles de microplásticos en peces del Pacífico guatemalteco ((Mazariegos-Ortíz et al., 2020; sometido a publicación)., sin embargo, productos farmacéuticos no se han analizado en los compartimentos ambientales del Canal de Chiquimulilla.

El Canal de Chiquimulilla y la Reserva de usos Múltiples Monterrico es importante para la Universidad de San Carlos, por la biodiversidad que alberga, ya que cuenta con áreas administradas por el Centro de Estudios Conservacionistas (Cecón), de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, así como una estación del Centro de Estudios del Mar y Acuicultura (CEMA), que realizan actividades de investigación y desarrollo en el área.

Por lo anterior, era importante investigar los niveles de microplásticos, metales pesados y fármacos en el agua, sedimentos y peces del Canal de Chiquimulilla, al desconocerse la situación de estos contaminantes, que pueden ingresar a la red trófica y llegar al ser humano. Se espera que la información generada sea de utilidad para los tomadores de decisiones, de manera que puedan adoptarse medidas de educación ambiental y mejorar el uso racional de los plásticos, así como considerar el tratamiento de aguas residuales en las localidades del área de estudio, y evaluar propuestas de regulación de contaminantes emergentes a nivel nacional.

### **3 Planteamiento del problema**

Los contaminantes emergentes han estado presentes en los ecosistemas acuáticos desde hace décadas como consecuencia de las actividades humanas y corresponden a sustancias químicas que no se consideraba que tuvieran posibles efectos tóxicos sobre el ser humano y los organismos acuáticos. Ha sido hasta el presente siglo cuando se ha determinado que los microplásticos y productos de cuidado personal, entre otros, pueden tener consecuencias nocivas sobre los organismos acuáticos y el propio ser humano, al existir bioacumulación y biomagnificación de los mismos en la cadena trófica.

En Guatemala, la mayoría de los cuerpos de agua se encuentran contaminados como producto de las descargas de aguas residuales industriales, de la mala disposición de desechos sólidos que son lixiviados, las descargas de aguas hospitalarias y de aguas domésticas, que pueden arrastrar metales y microplásticos, de los cuales se desconocen los niveles en que se encuentran en los cuerpos de agua de Guatemala. Estos contaminantes fueron evaluados en el presente proyecto en el Canal de Chiquimulilla y la Reserva Natural de Usos Múltiples Monterrico. El Canal de Chiquimulilla recibe aguas de escorrentía y de ríos de la costa sur, que incluye aguas de uso agrícola que pueden arrastrar metales pesados y microplásticos. A la fecha, se desconocen los niveles de metales ecotóxicos que pueden acumularse en diferentes compartimentos ambientales, incrementando el riesgo para la biota acuática y para el ser humano por el consumo de agua y peces.

De esta forma es necesario contar con la línea base de este tipo de contaminantes, para evaluar las consecuencias que puedan presentar y para contar con información que permita regular descargas y niveles en cuerpos de agua, ya que los microplásticos y metales no han sido considerados en la mayor parte de la legislación ambiental de Guatemala. Así el problema a investigar fue la contaminación del

ecosistema acuático del Canal de Chiquimulilla y la Reserva Natural de Usos Múltiples Monterrico y el riesgo de los niveles de microplásticos y metales ecotóxicos presentes, para la biota y la población humana.

Es importante evaluar el riesgo toxicológico de la contaminación por microplásticos, así como los niveles actuales de metales pesados en el ecosistema acuático de estudio, los cuales pueden ser de utilidad para la toma de decisiones de manejo relacionadas con la alerta temprana y la mejor disposición de los desechos sólidos. Así mismo, para regular la disposición de desechos plásticos con el fin de mitigar el problema y para considerar la inclusión de niveles permisibles en el agua, en las normas de calidad de agua, en un momento en que se puede contribuir con el proceso de actualización de la norma de agua potable y que se debe evaluar el reglamento de aguas residuales vigente.

## **4 Delimitación en tiempo y espacio**

### **4.1 Delimitación en tiempo**

El proyecto inició en febrero de 2021 y finalizó en febrero de 2022. Se colectaron muestras de agua, sedimentos y peces en cuatro muestreos que se realizaron en los meses de abril, junio, octubre de 2021 y febrero de 2022. En los muestreos se realizaron mediciones de campo y las muestras fueron procesadas y analizadas en el laboratorio posteriormente a cada muestreo.

### **4.2 Delimitación espacial**

El Canal de Chiquimulilla se extiende en una longitud de aproximadamente 120 kilómetros entre los municipios de la Gomera, San José, Iztapa (Departamento de Escuintla), Taxisco, Guazacapán, Chiquimulilla (Departamento de Santa Rosa) y Moyuta (Departamento de Jutiapa). Se origina en el estero Sipacate al suroeste de Sipacate, extendiéndose casi paralelo y a distancia variable del litoral, hasta el caserío de Barra el Jiote al sur de la Aldea El Paraíso. Actualmente la mayor parte de su curso es navegable con embarcación de poco calado. La Reserva Natural de Usos Múltiples Monterrico (RNUMM) es un área protegida de gran importancia para Guatemala y para toda la región Centroamericana, por ser un humedal de amplia riqueza por la diversidad de especies animales y vegetales. Dentro de la RNUMM habitan las comunidades de Agua Dulce, La Avellana, La Curvina, El Pumpe y Monterrico; dicha Reserva fue declarada legalmente el 16 de diciembre de 1977 por Acuerdo Gubernativo. La Reserva tiene una extensión de 2,800 hectáreas (28 Km<sup>2</sup>) y está ubicada al sudeste de la República sobre la franja costera del Pacífico entre los municipios de Taxisco y Chiquimulilla del departamento de Santa Rosa. La RNUMM es administrada por el Centro de Estudios

Conservacionistas de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia de la Universidad de San Carlos de Guatemala desde el año de 1979.

## 5 Marco teórico

### 5.1 Parámetros físicos, químicos y microbiológicos

Para saber si un cuerpo de agua está contaminado o no, es necesario medir ciertos parámetros de calidad de agua, que están clasificados en microbiológicos, físicos y químicos. Los parámetros físicos como la visibilidad, la temperatura y los sólidos proporcionan información sobre las condiciones estéticas del agua. La visibilidad se ve afectada por la cantidad de sólidos, representando a la zona fótica, hasta donde puede realizarse la fotosíntesis y hasta donde penetra la luz (Sierra, 2011).

Los parámetros químicos como pH, la conductividad y la cantidad de sustancias químicas como especies de nitrógeno y fósforo son parámetros que indican la presencia y la interacción de diferentes sustancias disueltas en el agua. La conductividad es un parámetro que mide indirectamente la cantidad de sales disueltas y que se ve afectado por pequeños cambios en el valor del pH. Las especies de nitrógeno y fósforo son esenciales para el crecimiento de organismos biológicos (Romero, 2009).

La cantidad de fósforo total se puede utilizar como indicador de la cantidad de contaminación antropogénica por detergentes o agroquímicos fosfatados, así como para evaluar el estado trófico de cuerpos de agua (Cuadro 2). De las especies de nitrógeno, el nitrógeno de amonio indica contaminación fecal inmediata. El nitrógeno de nitratos puede causar metahemoglobinemia por reducción de nitratos a nitritos en el estómago, cuando se ingiere agua contaminada (Ramírez & Viña, 1998; Roldán, 2003).

*Cuadro 1. Relación entre la concentración de fósforo total y la clasificación trófica de un cuerpo de agua.*

	Oligotrófico (Baja)	Mesotrófico (Intermedia)	Eutrófico (Alta)	Hiper Eutrófico (Extrema)
USEPA (1974)				
Fósforo total (mg/L)	< 0.01	0.01 – 0.02	0.02 - 1	> 1
Profundidad Secchi (m)	> 4	4 – 2	< 2	< 2
Oxígeno Hipolimnético (%)	> 80	80 - 10	< 10	< 10
Henao (1987)				

Profundidad Secchi (m)	> 1.6	1.6 – 0.8	< 2	
Fósforo Total (mg/L)	< 0.027	0.028 – 0.051	> 0.052	
Ortofosfatos (mg/L)	< 0.0073	0.0074 – 0.013	0.014	

Fuente: Roldán, 1978 y Henao, 1987 en Ramírez, 1998; Wetzel, 1981; Ramírez & Viña, 1998.

Dentro de las características biológicas se encuentra una gran variedad de microorganismos patógenos que causan enfermedades gastrointestinales, como bacterias, virus, algas. Los coliformes totales y fecales indican contaminación fecal animal o humana. La fiebre tifoidea es transmitida por la *salmonella typhosa*. La *Escherichia coli* produce gastroenteritis, y la población mayormente afectada por esta enfermedad es la población infantil y los adultos mayores (Sierra, 2011).

## 5.2 Metales tóxicos bioacumulables

Inadecuadamente llamados metales pesados o metales traza, estos metales constituyen parte integrante del ambiente y de la materia viva, están naturalmente en pequeñas concentraciones, en el orden de partes por billón a partes por millón. Entre estos, el zinc, el hierro, el manganeso, el cobre, el cobalto y el molibdeno son algunos que se destacan por ser esenciales a los organismos, aunque en cantidades mínimas, pues participan de procesos fisiológicos como la cadena respiratoria (Fe y Cu integran los citocromos); otros elementos, como el mercurio, el plomo y cadmio, cuando se encuentran en concentraciones más elevadas pueden causar toxicidad a los organismos (Esteves, 1988).

Estrictamente, los metales pesados deberían definirse por sus propiedades químicas, particularmente por su afinidad con ligandos específicos. En ese sentido, se clasifican como metales traza aquellos que pertenecen a la clase B o a la categoría límite, según Nieboer y Richardson (*apud* Phillips & Rainbow, 1993). Estos iones metálicos tienen alta afinidad por moléculas que contienen átomos de nitrógeno y azufre, enlazándose con relativa facilidad a proteínas y macromoléculas celulares. Así, su toxicidad se debe principalmente a su capacidad de interferir en reacciones enzimáticas (bloqueando, desplazando el ion esencial o modificando la conformación activa de las biomoléculas como proteínas y enzimas) y también a su baja movilidad, en virtud de las pequeñas dimensiones y de las cargas dobles y triples (número de oxidación). Esta movilidad débil hace que se acumulen, modificando profundamente el metabolismo de un organismo (Connell & Millar, 1984).

Los metales también pueden enlazarse covalentemente a átomos de carbono en un grupo orgánico, como el grupo metilo (-CH<sub>3</sub>), originando los llamados compuestos organometálicos. Los compuestos organometálicos neutros tienden a ser liposolubles, propiedad que facilita su movimiento a través de membranas biológicas, permaneciendo intactos durante ese paso y permitiendo su distribución en esos

sistemas. Este proceso es responsable de gran parte de la movilidad ambiental de algunos metales pesados, entre los que se destacan el mercurio y el plomo. Entre los metales que se analizarán en el presente proyecto se encuentren los siguientes:

**Cadmio:** La producción mundial de cadmio es de alrededor de 15,000 toneladas por año, siendo utilizado principalmente en galvanoplastia y como constituyente de pigmentos y estabilizantes de plásticos. Fertilizantes fosfatados y drenaje de minas representan también fuentes considerables de este metal. Se trata de un metal altamente tóxico a diferentes formas de vida, acumulándose en microorganismos, tejidos vegetales y animales. Ensayos de bioconcentración con peces, utilizando cloruro de cadmio como sustancia de ensayo, permitieron constatar que la acumulación de este metal aumenta en función de su concentración en el agua (CETESB, 1990).

El cadmio se bioacumula en los tejidos de los organismos de agua dulce (Mason, 1991; Wren *et al.*, 1995). Factores de bioconcentración medidos en macrófitas son inferiores a 50 y en peces, menores que 100. Para algunos moluscos se han registrado factores entre 2000 y 4000. Esa distribución y acumulación de cadmio en los tejidos es dependiente de la especie y de la vía de exposición (Alimento o agua). En peces, una gran proporción del cadmio retenido se acumula en las branquias, hígado y riñones. Un ejemplo son las truchas de los ríos contaminados con cadmio, las cuales presentan residuos en el hígado de 6 a 8 veces superiores en comparación con peces de lugares exentos de contaminación con ese metal (Mason, 1991).

**Plomo:** El plomo es un metal con amplio uso en las industrias de tintes, baterías, tuberías y como aditivo en derivados del petróleo, ocurriendo en formas inorgánicas [Pb(II)] y, menos frecuentemente, en orgánicas [Pb(IV)]. Su asimilación en ecosistemas acuáticos parece estar determinada por su biodisponibilidad, generalmente más baja cuando hay presencia de materia orgánica o partículas minerales. La temperatura, la salinidad, el pH y el contenido de ácidos húmicos y fúlvicos también son factores que influyen en la acumulación de plomo a partir del agua y del sedimento (OMS, 1989). Existe una gran variedad de organismos acuáticos que pueden asimilar y acumular altas concentraciones de plomo, y el tiempo de residencia para estar relacionado con la ruta de absorción. Compuestos orgánicos de este elemento (sobre todo formas metiladas como tetralquilplomo) son más lipofílicos, los cuales son absorbidos y acumulados más rápidamente. Así, generalmente son más tóxicos que sus compuestos inorgánicos y la intensidad de la toxicidad se eleva con el grado de alquilación (Pain, 1995).

**Cobre:** El cobre es un elemento esencial, necesario para los organismos en cantidades reducidas. No obstante, en cantidades superiores a los límites exigidos, puede desencadenar respuestas tóxicas, con un significativo potencial para la bioacumulación. Entre las fuentes naturales de cobre, se encuentran el intemperismo o meteorización y las actividades volcánicas. Como fuentes antropogénicas, se destacan la minería, actividades de fundición, incineración y estaciones de fuerza; además de esto, el

cobre constituye un metal ampliamente utilizado en formulaciones de fungicidas, bactericidas, alguicidas, fertilizantes y tintes antiincrustantes.

En el ambiente acuático, la concentración, la biodisponibilidad y, consecuentemente el potencial para bioacumulación del cobre dependen de factores como dureza, alcalinidad, fuerza iónica, pH, potencial redox, presencia de ligantes para complejación, contenido de carbono orgánico e interacción entre sedimento y agua. Los factores de bioacumulación, a su vez, varían entre organismos, en función de las tasas de asimilación y eliminación.

En un estudio realizado en Guarapiranga, Brasil, se verificó que el nivel de acumulación de cobre, es creciente en función de su concentración en el agua. Los niveles de cobre fueron de 3 a 7 veces más elevados en el fitoplancton que en el zooplancton por ejemplo. Se observó que la contaminación del sedimento por cobre, era elevada, pudiendo constituir una fuente de metal para la columna de agua por largos períodos de tiempo (Zagatto & Aragao, 1995).

Los metales traza o ecotóxicos se acumulan en los tejidos de organismos acuáticos y llegar a los humanos por medio de la cadena alimenticia. Los elementos como cadmio y plomo que se encuentran en el tejido de los peces en concentraciones de partes por millón (ppm), son considerados tóxicos, y pueden causar daño a la salud humana.

En el Cuadro 1 se presentan diferentes límites de metales en tejido muscular de peces, útiles como valores guía para la toma de decisiones.

*Cuadro 2 Límites máximos de tolerancia para metales en tejido muscular de peces de consumo humano en peso fresco.*

	<b>Brazilian Food Legislation (BFL) (mg/kg)</b>	<b>Agencia Nacional de Vigilancia Sanitaria ANVISA de Brasil (mg/kg)</b>	<b>Organización Mundial de la Salud (OMS)( mg/kg)</b>
Cobre (Cu)	30		---
Zinc (Zn)	50		66
Cadmio (Cd)	---	0.05 – 0.30	0.01 – 1.04
Plomo (Pb)	2.0	0.30	0.2 – 2.5

Fuente: Silva et al., 2019, Boy, 2015.

## 5.3 Microplásticos

Los microplásticos comprenden las partículas de plástico menores a 5 mm provenientes principalmente de la fragmentación de los mesoplásticos (5-25 mm) que provienen a su vez de la degradación de artefactos de plástico de mayor tamaño (Jabeen et al., 2017). Hasta hace poco, la mayoría de las investigaciones que se realizaban sobre microplásticos se hacían en ecosistemas marinos, donde se encontró inicialmente la acumulación de desechos plásticos, siendo considerados como el destino final de dichos contaminantes. Entre los materiales de plástico que se acumulan en los organismos, se encuentran los ésteres de ácidos ftálicos (PAE), conocidos como ftalatos, que son una clase de productos químicos que varían mucho en términos de usos, propiedades y toxicidad. Los ftalatos de uno a 4 átomos de carbono se utilizan en productos comerciales en productos no-vinílicos y en productos farmacéuticos, mientras que los ftalatos de 8 a 10 átomos de carbono se utilizan como aditivos que imparten flexibilidad a resinas vinílicas (Staples, Guinn, Kramarz, & Lampi, 2011). Según dichos autores, se han realizado diferentes estudios exponiendo peces o invertebrados en todas las etapas sensibles de desarrollo, obteniéndose resultados que indican que las poblaciones de organismos acuáticos, ya sean peces o invertebrados, pueden afectarse negativamente por la exposición a ftalatos de uno a cuatro átomos de carbono, mientras no hay evidencia de que los ftalatos de ocho o más átomos de carbono produzcan efectos negativos.

El plástico es un material sintético o semisintético hecho de varios polímeros orgánicos, entre los que se incluyen: el propileno (PS), polietileno (PET), cloruro de polivinilo (PVC), poliestireno (PS), poliéster (PET) (Li et al., 2018). Este material se utiliza ampliamente, para la fabricación de diversos productos, ya que son fáciles de producir, baratos, livianos y resistentes.

Actualmente existen un sinnúmero de productos hechos de plástico y se encuentra en la mayoría de aspectos y objetos de la vida moderna (Plastics Europe, 2018). Debido a lo anterior, el uso del plástico se ha convertido en un problema grave durante los últimos años, ya que la demanda ha crecido a pasos agigantados. Se tienen reportes que desde los años 50 la producción de plásticos ha superado a la de otros materiales y se ha visto un cambio en el uso de plásticos duraderos a plásticos de un solo uso, como bolsas, pajillas, recipientes, vasos, cubiertos, etc. (ONU Medio Ambiente, 2018).

El problema fundamental que representan los plásticos, principalmente los de un solo uso, es que no se pueden reciclar o biodegradar, por lo general se degradan muy lentamente reduciéndose a partículas más pequeñas conocidas como microplásticos (ONU Medio Ambiente, 2018). El término microplásticos fue propuesto por Thomson y colaboradores en el 2004, y fueron definidos como aquellas partículas que miden menos de cinco milímetros y que entran a los ambientes acuáticos a partir de varias fuentes (Wagner & Lambert, 2018).

Los microplásticos son clasificados por su procedencia u origen, como primarios y secundarios. Los primarios, son los que provienen directamente de producción como los pellets, las partículas que se encuentran en los cosméticos (exfoliantes, pasta de dientes y detergentes o partículas que se encuentran en productos de limpieza corporal y medicamentos); mientras que los secundarios provienen de la fragmentación de otros plásticos más grandes (esta fragmentación puede darse por factores físicos, químicos o biológicos) y fibras provenientes de textiles o redes de pesca (Marine Debris Program, 2019; ONU Medio Ambiente, 2018). Los dos microplásticos que han sido reportados como los más abundantes de los cuerpos de agua continentales son las fibras y los fragmentos. Estos son plásticos secundarios, que provienen de la degradación de plásticos más grandes. Sin embargo, en peces se ha visto una tendencia a acumular fibras en un nivel más alto, ya que son más fáciles de ingerir (Qiao, et al., 2019).

Diversos estudios revelan que los microplásticos se encuentran de manera ubicua en los cuerpos de agua dulce (Wang, Ge y Yu, 2019). Además, las fuentes principales de microplásticos son de origen terrestre, principalmente de la urbanización y las actividades antropogénicas que se realizan (Eerkes-Medrano et al., 2015). Esto provoca que diversos organismos estén expuestos a estos contaminantes y, por tanto, sean consumidos por diferentes taxa a lo largo de la cadena trófica (Wang, Ge y Yu, 2019). Los organismos más utilizados como bioindicadores de la contaminación por microplásticos son los peces, ya que esos tienen una movilidad restringida y tienen a mantenerse en un mismo lugar por mucho tiempo, lo cual los hace propensos a ingerir microplásticos (Wesch et al., 2016).

## 6. Estado del arte

### 6.1 Procesos de Bioacumulación

La asimilación y la retención de un contaminante por un organismo pueden acarrear la concentración elevada del mismo, con probabilidad de causar efectos deletéreos. Ese proceso puede ocurrir por absorción directa, a partir del ambiente, o por absorción indirecta, a través de alimento contaminado. Consecuentemente en una cadena alimenticia, los contaminantes pueden ser transferidos de un nivel trófico a otro.

Según Spacie *et al.* (1995), tres términos pueden ser aplicados para la descripción de estos procesos: Bioacumulación: el cual es el término más genérico, que designa el proceso en que sustancias químicas provenientes del ambiente son asimiladas y retenidas por los organismos. Incluye la absorción a partir de todas las vías de exposición (respiración, nutrición, epidermis) y compartimientos en que los contaminantes estén presentes en el medio acuático (agua, sedimento, otros organismos).

Bioconcentración o bioacumulación directa: término más específico designando la acumulación de sustancias químicas exclusivamente a partir de la fase acuosa, aunque esta sea bastante heterogénea,

con posibilidad de que la sustancia esté asociada al material orgánico disuelto, coloidal o particulado. En los peces, el proceso de bioconcentración inicia cuando el contaminante disuelto atraviesa el epitelio branquial, siendo transportado por la sangre a través de tejidos altamente vascularizados hasta alcanzar los tejidos de reserva.

Biomagnificación o bioacumulación indirecta; proceso a través del cual los contaminantes son transferidos de un nivel trófico a otro, exhibiendo concentraciones crecientes a medida que pasan a niveles más elevados.

La absorción vía dieta representa el principal proceso en la transferencia trófica del contaminante. En peces y mamíferos, la absorción del alimento ocurre principalmente en el intestino y en el caso de contaminantes hidrofóbicos, es dependiente del contenido de lípidos de la fuente alimenticia.

## 6.2 Metales tóxicos

La mayoría de los cuerpos de agua de Guatemala se encuentran contaminados (Oliva, Pérez, & Valladares, 2011) a tal grado que lagos que hasta hace pocos años se encontraban limpios (oligotróficos), como el caso del lago de Atilán, ahora son ecosistemas que favorecen el florecimiento de cianobacterias que generan sustancias tóxicas (Ruiz Cano et al., 2017). Se cuenta con poca información sobre la concentración de metales traza o ecotóxicos en tejido muscular de peces, y siendo la pesca una de las actividades económicas importantes para nuestro medio, es importante saber la concentración que puede encontrarse en los peces.

Boy (2015) en su estudio realizado en peces en el lago de Izabal, reportó un promedio de 0.5349 mg/kg para zinc en tejido muscular de Chumbimba. También reportó una concentración promedio de cobre para tilapia con valor de 6.57 mg/kg, y valores máximos y mínimos para metales como Pb entre 0.011 – 0.992 mg/kg; Cd con un máximo de 0.05 mg/kg; Zn entre 2.65 – 14.32 mg/kg; y Cu entre 2.51 – 13.95 mg/kg en peso húmedo.

Por otra parte, también existe contaminación de los cuerpos de agua por causa antropogénicas, siendo el caso más notorio, el del lago de Amatitlán, en el que se han encontrado los principales metales tóxicos, inclusive en peces propios del lago. En vista que casos de contaminación mencionados pertenecen a la vertiente del Pacífico, hacia donde se dirigen es importante evaluar los niveles de metales ecotóxicos en el Canal de Chiquimulilla y en la RNUM Monterrico.

## 6.3 Microplásticos

Los microplásticos son producidos al fragmentarse los plásticos en los ambientes acuáticos por su exposición a las condiciones ambientales (Barnes, Galgani, Thompson & Barlaz, 2009). Estos

ingresan a los organismos vivos por ingestión y pueden acumularse en diversos órganos, habiéndose comprobado que causan efectos nocivos en los organismos. La contaminación por microplásticos no es visible a simple vista y representa un riesgo ecotoxicológico para los organismos acuáticos, como los peces, en los cuales pueden acumularse en el sistema digestivo o en el tejido graso como el caso de los ftalatos. Esta acumulación representa también un riesgo para el ser humano que consume estos peces y otros productos que los contienen, como se ha demostrado en estudios de exposición (Latini, 2005) e inclusive de la presencia de ftalatos en leche humana (Guerrarini et al., 2013).

En Guatemala el estudio de microplásticos no ha sido abordado profundamente en los ecosistemas tanto de agua dulce, como marino-costeros. Un reciente estudio publicado en *Marine Pollution Bulletin* por investigadores del Centro de Estudios del Mar y Acuicultura de la Universidad de San Carlos de Guatemala y la Universidad Federal Fluminense encontró contaminación por microplásticos en el Caribe de Guatemala (Mazariegos-Ortíz et al., 2020). Los autores reportan una abundancia de 279 ítems/m<sup>2</sup>, misma que es reportada en grandes ciudades que se encuentran ubicadas en áreas de costa, a diferencia que este estudio reporta la abundancia de microplásticos en un área alejada de ciudades y dentro de un área protegida, lo cual es preocupante debido a que se identifica al río Motagua como una de las principales fuentes de contaminación. Por otra parte, otro estudio llevado a cabo en el año 2019 por investigadores del Centro de Estudios del Mar y Acuicultura, reporta contaminación por microplásticos en cuatro playas del Pacífico de Guatemala; con ello, ambos litorales del país cuentan con información sobre este contaminante emergente (Mazariegos-Ortíz et al., 2020; sometido a publicación).

Los desechos sólidos, principalmente los plásticos se han convertido en un grave problema para muchos países que no tienen un tratamiento adecuado de estos desechos (Bustos, 2009). Entre ellos se encuentra Guatemala, donde en la mayoría de lugares la basura que es recolectada se deposita en vertederos, donde se va acumulando y no recibe ningún tipo de tratamiento. Junto a lo anterior, otro problema que afronta el país es la existencia de basureros clandestinos en donde las personas llegan a tirar sus desechos (generalmente barrancos, terrenos baldíos y calles) sin ningún tipo de tratamiento, patrones que se repiten en todo el país (Bnamericas, 2021; Waste Atlas, 2014). La falta de un tratamiento adecuado de los desechos provoca que los productos que están hechos de plástico, al estar expuestos a factores químicos y físicos abrasivos, se degraden a partículas más pequeñas conocidas como microplásticos, que son contaminantes emergentes los cuales por medio de ríos o escorrentía hídrica van a parar a reservorios finales, como lagos, lagunas, canales u océanos.

En Guatemala no existen muchos estudios relacionados a la detección de microplásticos en agua dulce. Sin embargo, existen esfuerzos entre los que se pueden mencionar: los realizados en el lago de Atitlán por López (2018), Sagastume (2020), Santos (2020) quienes determinaron microplásticos en la superficie, en el contenido gastrointestinal de blue gill (*Lepomis macrochirus*) y en sedimentos superficiales, respectivamente. Las tres investigadoras reportaron microplásticos presentes en las áreas

de estudio. En Petén Itzá, Mejía (2019) determinó la presencia de microplásticos en las aguas superficiales. También en el 2019, Romero y colaboradores, hicieron una reconstrucción del pasado reciente en el lago de Amatitlán, donde utilizando un núcleo determinaron que la presencia de microplásticos en sedimentos se encuentra asociada a las actividades antropogénicas. En el año 2021 Mazariegos y colaboradores determinaron la ocurrencia de microplásticos en el tracto digestivo de peces de la Reserva Natural de Usos Múltiples de Monterrico, año en el que también, Oliva y colaboradores determinan la presencia y abundancia de microplásticos en el tracto digestivo de tilapias del lago de Amatitlán.

Lo anterior demuestra que los microplásticos se encuentran en varios los cuerpos de agua del país, por lo que es fundamental incrementar los esfuerzos para el estudio de este contaminante para conocer de qué manera están afectando los reservorios y la biota asociada a ellos.

## **7. Objetivos**

### **7.1 Objetivo General**

Evaluar los niveles de microplásticos y metales pesados en sedimentos y peces del ecosistema acuático del Canal de Chiquimulilla y Reserva de Usos Múltiples Monterrico.

### **7.2 Objetivos Específicos**

Determinar los tipos y las concentraciones de microplásticos en peces del ecosistema acuático del Canal de Chiquimulilla y Reserva de Usos Múltiples Monterrico.

Determinar las concentraciones de metales tóxicos en peces del ecosistema acuático del Canal de Chiquimulilla y Reserva de Usos Múltiples Monterrico.

Determinar los principales parámetros fisicoquímicos en el agua del ecosistema acuático del Canal de Chiquimulilla y Reserva de Usos Múltiples Monterrico.

Establecer los contaminantes que se encuentren en el agua del ecosistema acuático del Canal de Chiquimulilla y Reserva Natural de Usos Múltiples Monterrico.

## 8. Hipótesis

Existen niveles cuantificables de contaminantes emergentes, microplásticos y metales pesados en peces del ecosistema acuático del Canal de Chiquimulilla y Reserva de Usos Múltiples Monterrico.

## 9. Materiales y métodos

### 9.1 Enfoque de la investigación

La investigación tuvo un enfoque cuantitativo, descriptiva y explicativa.

### 9.2 Método

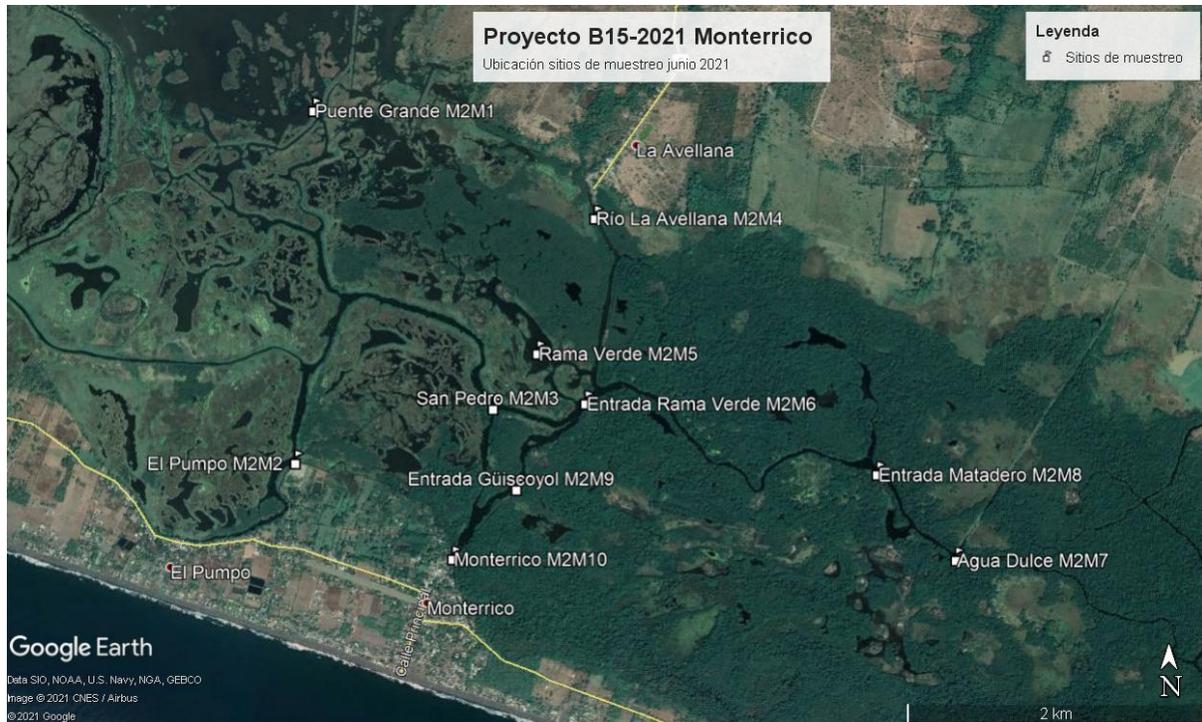
**Muestreo:** Las muestras de agua y sedimentos se colectaron en 10 sitios de muestreo: ubicados en Rama Verde, El Pumpo, La Avellana, San Pedro, Puente Grande, Monterrico, Entrada a Agua Dulce, Agua Dulce (El Dragado), entrada a Güiscoyol y el Matadero (Cuadro 3). Los sitios de muestreo pueden apreciarse en la Figura 1.

*Cuadro 1. Coordenadas de sistema de posicionamiento global, para los 10 sitios de muestreo en el Canal de Chiquimulilla y Reserva Natural de Usos Múltiples Monterrico.*

Coordenadas Sitio	N	W
Puente Grande	13°55.4170´	90°29.2740´
El Pumpo	13°54.1400´	90°29.3410´
San Pedro	13°54.3360´	90°28.6040´
Río La Avellana	13°55.0260´	90°28.2250´
Rama Verde	13°54.5370´	90°28.4390´
Entrada Rama Verde	13°54.3560´	90°28.2600´
Agua Dulce	13°53.7900´	90°26.8820´
Entrada Matadero	13°54.1000´	90°27.1760´
Entrada Güiscoyol	13°54.0440´	90°28.5170´
Monterrico	13°53.7940´	90°28.7540´

Fuente: datos propios colectados para el Proyecto B15-2021.

Figura 1. Mapa de ubicación de los sitios de muestreo ubicados en el Canal de Chiquimulilla y Reserva Natural de Usos Múltiples Monterrico.



Fuente: Elaboración propia, datos del Proyecto B15-2021

**Diseño de muestreo:** Muestreo no probabilístico, se muestrearon diez puntos de muestreo en el canal de Chiquimulilla y RNUM Monterrico que han sido utilizados para colecta de muestras en estudios anteriores considerando la cercanía con posibles fuentes de contaminación por ocupación humana.

### **Toma de muestras de agua y sedimentos:**

Se realizó de acuerdo a los procedimientos estándar de EPA (1986) y APHA-AWWA (1998). Las muestras de agua se colectaron en recipientes plásticos de 1 L, para el análisis de contaminantes inorgánicos. Las botellas se trataron previamente con ácido para eliminar cualquier contaminación de las muestras y se transportaron al laboratorio en hieleras para mantener una temperatura de aproximadamente 4°C.

Los sedimentos se colectaron con draga Ekman en los 10 sitios de muestreo. Se colectaron en bolsas plásticas para su transporte al laboratorio y se secaron a una temperatura entre 40 y 60 grados centígrados. A continuación se tamizaron y se separaron en submuestras para los diferentes análisis.

### **Análisis de parámetros físicos en el campo**

Utilizando medidores portátiles, se midieron los parámetros pH, conductividad, oxígeno disuelto, y temperatura en cada sitio de muestreo. Se midió la transparencia (visibilidad) utilizando un disco de

Secchi y la profundidad (Bicudo & Bicudo, 2004). Todos los sitios se registraron por medio de un sistema de posicionamiento geográfico –GPS- y se procedió a elaborar un mapa para representar la superficie de estudio y tener una mejor comprensión de la influencia en el ecosistema.

## **Análisis de nutrientes (especies de nitrógeno y fósforo)**

Se analizaron los niveles de nitrógeno total, nitrógeno de amonio, nitratos, nitritos, de fósforo total y fósforo de orto-fosfatos, DBO, y sólidos según metodología de la APHA y AWWA (1998). Los compuestos de interés se hacen reaccionar con reactivos específicos para formar compuestos con coloración, para luego ser analizados por Espectrofotometría visible. Debido al tiempo que transcurre entre la toma de las muestras y su análisis en el laboratorio, las muestras son preservadas siguiendo procedimientos de APHA y AWWA (1998).

**Análisis de metales:** Se analizaron los metales ecotóxicos o traza: plomo, cadmio, zinc y cobre los cuales fueron determinados por espectrofotometría de absorción atómica de llama. Para el análisis de metales en forma total, se realizó una digestión total de 0.5 g de sedimento con agua regia (HCl-HNO<sub>3</sub>), en bomba de teflón y con calentamiento en baño de arena (Rezende, 1993). La cuantificación se hizo por medio de una curva de calibración utilizando estándares de los metales Pb, Cd, Cu y Zn en diferentes concentraciones.

## **Determinación de microplásticos en peces y sedimento**

Para la determinación de microplásticos, se colectan fibras y fragmentos de sedimentos obtenidos por medio de una separación por tamizaje y separando por cambio de densidad con NaCl, filtración con filtro de celulosa y revisión con estereoscopio. Para los peces se realizó una extracción del sistema digestivo completa de los peces. En este caso, las muestras de cada pez se colocan en un matraz cónico y se tratan con 50 ml de hidróxido de potasio al 10% (1:10 p/v) por 48 h, luego se digirieron a temperatura ambiente con 10 ml de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> al 30% durante la noche para degradar cualquier materia orgánica restante. Para su clasificación los microplásticos de las muestras de agua se digirieron con KOH al 20% durante 48 horas, luego de lo cual se analizaron con estereoscopio y se cuantificaron (Masura, Baker, Foster, & Arthur, 2015).

Para determinar la composición de los microplásticos, estos se analizarían por espectroscopía infrarroja con transformada de Fourier en modo de reflexión total atenuada (ATR), en el rango de longitud de onda de 4000 a 600 cm<sup>-1</sup> de acuerdo con la metodología utilizada por Lefebvre, Saraux, Heitz, Nowaczyk & Bonnete (2019). A continuación, los microplásticos serían identificados por comparación con los espectros de polímeros de la biblioteca del software. Sin embargo el tamaño de las muestras no permitió el análisis de las mismas por ser muy pequeñas y el equipo no permitió las lecturas.

## 10. Recolección de información

La recolección de información se realizó en el campo, mediante las mediciones de parámetros físicos de campo y el registro de los puntos de muestreo, para lo cual se contó con formularios de registro de datos. Así mismo, se recolectó información en el laboratorio, mediante el registro de los resultados de los análisis de laboratorio del agua, sedimentos y peces colectados en el Canal de Chiquimulilla. Los datos fueron tabulados y procesados para su presentación en este informe.

## 11. Técnicas e instrumentos

**Muestreo:** Se colectaron muestras de agua con botellas plásticas, sedimentos con draga Ekman y peces con atarraya como arte de pesca activo y también a través de pescadores locales. Las muestras de sedimento se guardaron en bolsas plásticas a temperatura ambiente. Las muestras de peces se colocaron en una hielera con suficiente hielo para preservarlos y se almacenaron en un congelador en el laboratorio hasta su posterior análisis. Se utilizaron formas de registro para identificar las muestras y los sitios de muestreo que fueron georreferenciados con GPS.

**Preparación preliminar de la muestra:** Se registraron los datos de los pesos de sedimentos y peces antes y después de secado. A los peces se les midió la longitud total con un metro y su peso en gramos. A continuación se hizo una disección extrayendo el estómago e intestino con un bisturí. Se realizó una digestión para separar los microplásticos de la materia orgánica, con KOH al 20% por 48 horas. Los datos se registraron en formularios para dicho propósito y en cuaderno de laboratorio.

**Técnicas espectroscópicas:** Para la medición de los nutrientes se registrará los datos de absorbancia obtenidos por espectrofotometría UV/Vis y cromatografía de iones. Las cuantificaciones se realizarán por medio de curva de calibración. Los parámetros a analizar se midieron por espectrofotometría UV/Vis, según metodología de APHA/AWWA. Para la medición de metales, estos se cuantificaron por medición de su absorbancia y curvas de calibración por espectrofotometría de absorción atómica con llama. Los datos se registraron en cuaderno de laboratorio y en las bases de datos del laboratorio, según los códigos de las muestras para su posterior análisis.

## 12. Procesamiento y análisis de la información

Los datos se procesaron en una hoja electrónica de Excel. Se realizó el análisis de componente principal como técnica multivariante para establecer la relación de los contaminantes emergentes con los parámetros de calidad del agua del Canal de Chiquimulilla y RNUM Monterrico.

El resumen descriptivo se realizó con estadísticos de tendencia central, estadísticos de dispersión, tablas y gráficas. Se estimaron intervalos de confianza del 95% para la media poblacional de las concentraciones de cada analito. Se compararon las mediciones repetidas con una prueba de análisis de varianza de medidas repetidas con un nivel de significancia del 5%. Se realizó un modelo factorial en peces para contrastar los cambios en las variables respuesta repetidas en función de la especie.

## 13. Resultados y discusión

A continuación se presentan los resultados de esta investigación.

### 13.1 Resultados:

#### 13.1.1 Resultados de parámetros físicos y químicos

*Cuadro 4. Potencial de hidrógeno -pH- medido en agua en 10 sitios de muestreo ubicados en el Canal de Chiquimulilla y Reserva Natural de Usos Múltiples Monterrico, medidos durante el año 2021 y 2022.*

No.	Código	Nombre	Potencial de hidrógeno (pH) en unidades				Promedio
			Muestreo				
			1	2	3	4	
1	M1	Puente Grande	8.156	7.922	7.520	8.16	<b>7.940</b>
2	M2	El Pumpo		7.591	6.900	8.29	<b>7.594</b>
3	M3	San Pedro		7.685	6.730	8.04	<b>7.485</b>
4	M4	La Avellana	7.067	7.302	6.930	8.04	<b>7.335</b>
5	M5	Rama Verde		7.475	6.730	8.04	<b>7.415</b>
6	M6	Entrada Rama Verde	7.506	7.602	6.960	7.67	<b>7.435</b>
7	M7	Agua Dulce	6.966	7.310	6.900	7.71	<b>7.222</b>
8	M8	Entrada Matadero		7.298	6.900	7.97	<b>7.389</b>
9	M9	Entrada Güiscoyol		7.325	6.980	8.03	<b>7.445</b>
10	M10	Monterrico	7.050	7.404	7.020	7.94	<b>7.354</b>
		<b>Promedio</b>	<b>7.349</b>	<b>7.491</b>	<b>6.957</b>	<b>7.989</b>	<b>7.447</b>

Fuente: Datos propios, proyecto B15-2021.

*Cuadro 5. Potencial de Óxido Reducción -ORP- medidos en agua en el Canal de Chiquimulilla y Reserva Natural de Usos Múltiples Monterrico, en 10 sitios de muestreo, durante 2021 y 2022.*

No.	Código	Nombre	Potencial redox en mV			Promedio
			Muestreo			
			1	2	4	
1	M1	Puente Grande	-75.2	-45.1	-56.1	<b>-58.8</b>
2	M2	El Pumpo		-24.2	-62.6	<b>-43.4</b>
3	M3	San Pedro		-30.8	-49.6	<b>-40.2</b>

# Informe final proyecto de investigación 2021

Dirección General de Investigación –DIGI-

4	M4	La Avellana	-12.1	-6.0	-49.7	<b>-22.6</b>
5	M5	Rama Verde		-17.8	-46.6	<b>-32.2</b>
6	M6	Entrada Rama Verde	-39.4	-25.5	-30.5	<b>-31.8</b>
7	M7	Agua Dulce	-6.8	-4.0	-32.6	<b>-14.5</b>
8	M8	Entrada Matadero		-15.1	-46.0	<b>-30.6</b>
9	M9	Entrada Güiscoyol		-7.0	-49.2	<b>-28.1</b>
10	M10	Monterrico	-11.7	-13.6	-44.5	<b>-23.3</b>
		<b>Promedio</b>	<b>-29.0</b>	<b>-18.9</b>	<b>-46.7</b>	<b>-32.5</b>

Fuente: Datos propios, proyecto B15-2021.

*Cuadro 6. Temperatura en grados centígrados en los sitios de muestreo ubicados en el Canal de Chiquimulilla y Reserva Natural de Usos Múltiples Monterrico, medidos durante el año 2021 en 10 sitios de muestreo.*

No.	Código	Nombre	Temperatura en °C				Promedio
			Muestreo				
			1	2	3	4	
1	M1	Puente Grande	29.1	30.2	30.6	28.6	<b>29.6</b>
2	M2	El Pumpo		30.7	29.5	28.0	<b>29.4</b>
3	M3	San Pedro		32.2	29.2	27.5	<b>29.6</b>
4	M4	La Avellana	29.2	31.2	30.1	28.7	<b>29.8</b>
5	M5	Rama Verde		30.4	29.6	29.5	<b>29.8</b>
6	M6	Entrada Rama Verde	31.7	31.9	29.3	29.1	<b>30.5</b>
7	M7	Agua Dulce	29.6	31.4	29.1	30.3	<b>30.1</b>
8	M8	Entrada Matadero		31.7	29.2	29.6	<b>30.2</b>
9	M9	Entrada Güiscoyol		31.3	29.7	30.7	<b>30.6</b>
10	M10	Monterrico	31.2	31.0	29.7	30.0	<b>30.5</b>
		<b>Promedio</b>	<b>30.16</b>	<b>31.2</b>	<b>29.6</b>	<b>29.2</b>	<b>30.0</b>

Fuente: Datos propios, proyecto B15-2021.

*Cuadro 7. Oxígeno disuelto en mg/L medido en 10 sitios de muestreo ubicados en la región del Canal de Chiquimulilla y Reserva Natural de Usos Múltiples Monterrico, durante el 2021.*

No.	Código	Nombre	Oxígeno disuelto en mg/L				Promedio
			Muestreo				
			1	2	3	4	
1	M1	Puente Grande	0.23	0.98	3.40	5.92	<b>2.63</b>
2	M2	El Pumpo		0.89	1.43	6.95	<b>3.09</b>
3	M3	San Pedro		0.26	1.23	3.56	<b>1.68</b>
4	M4	La Avellana	1.88	0.24	1.27	8.52	<b>2.98</b>
5	M5	Rama Verde		1.73	1.78	10.34	<b>4.62</b>
6	M6	Entrada Rama Verde	4.72	0.54	1.09	4.70	<b>2.76</b>

# Informe final proyecto de investigación 2021

Dirección General de Investigación –DIGI-

7	M7	Agua Dulce	1.44	0.19	1.01	5.70	<b>2.09</b>
8	M8	Entrada Matadero		0.24	1.12	5.73	<b>2.36</b>
9	M9	Entrada Güisoyol		1.38	1.55	10.59	<b>4.51</b>
10	M10	Monterrico	2.05	0.69	1.35	6.70	<b>2.70</b>
<b>Promedio</b>			<b>2.06</b>	<b>0.71</b>	<b>1.52</b>	<b>6.87</b>	<b>2.79</b>

Fuente: Datos propios, proyecto B15-2021.

*Cuadro 8. Oxígeno en porcentaje medido en los 10 sitios de muestreo ubicados en el Canal de Chiquimulilla y Reserva de Usos Múltiples Monterrico, durante el 2021.*

			<b>Oxígeno disuelto en %</b>				
			Muestreo				
No.	Código	Nombre	1	2	3	4	<b>Promedio</b>
1	M1	Puente Grande	3.0	13.0	46.0	76.5	<b>34.6</b>
2	M2	El Pumpo		11.9	18.5	88.2	<b>39.5</b>
3	M3	San Pedro		3.3	16.3	45.0	<b>21.5</b>
4	M4	La Avellana	24.9	3.2	16.5	109.7	<b>38.6</b>
5	M5	Rama Verde		23.0	23.2	135.6	<b>60.6</b>
6	M6	Entrada Rama Verde	64.5	7.4	14.5	61.5	<b>37.0</b>
7	M7	Agua Dulce	18.2	2.6	13.3	76.3	<b>27.6</b>
8	M8	Entrada Matadero		3.3	14.5	75.6	<b>31.1</b>
9	M9	Entrada Güisoyol		18.7	20.8	141.6	<b>60.4</b>
10	M10	Monterrico	27.7	9.2	18.2	89.0	<b>36.0</b>
<b>Promedio</b>			<b>27.7</b>	<b>9.6</b>	<b>20.2</b>	<b>89.9</b>	<b>36.8</b>

Fuente: Datos propios, proyecto B15-2021.

*Cuadro 9. Conductividad en mS/cm en 10 sitios de muestreo ubicados en el Canal de Chiquimulilla y Reserva Natural de Usos Múltiples Monterrico, medidos durante el 2021.*

		<b>Conductividad en mS/cm</b>				
		Muestreo				
Código	Nombre	1	2	3	4	<b>Promedio</b>
M1	Puente Grande	0.01	0.679	0.71	10.03	<b>2.86</b>
M2	El Pumpo		23.1	0.41	7.58	<b>10.36</b>
M3	San Pedro		34.8	0.27	19.99	<b>18.35</b>
M4	La Avellana	0.01	34.8	0.93	14.71	<b>12.61</b>
M5	Rama Verde		34.8	0.37	15.50	<b>16.89</b>
M6	Entrada Rama Verde	39.4	8.82	0.53	25.00	<b>18.44</b>
M7	Agua Dulce	39.9	21.12	0.53	23.90	<b>21.36</b>
M8	Entrada Matadero		31.6	0.53	23.20	<b>18.44</b>
M9	Entrada Güisoyol		53.2	0.46	14.66	<b>22.77</b>
M10	Monterrico	39.4	53.2	0.69	14.83	<b>27.03</b>

# Informe final proyecto de investigación 2021

Dirección General de Investigación –DIGI-

<b>Promedio</b>	<b>23.7</b>	<b>29.6</b>	<b>0.5</b>	<b>16.94</b>	<b>17.71</b>
-----------------	-------------	-------------	------------	--------------	--------------

Fuente: Datos propios, proyecto B15-2021.

*Cuadro 10. Visibilidad en metros de los sitios de muestreo ubicados en el Canal de Chiquimulilla y Reserva Natural de Usos Múltiples Monterrico, durante el 2021.*

No.	Código	Nombre	Visibilidad en metros				Promedio
			Muestreo				
			1	2	3	4	
1	M1	Puente Grande	0.50	0.27	0.50	0.15	<b>0.36</b>
2	M2	El Pumpo		0.47	1.50	0.23	<b>0.73</b>
3	M3	San Pedro		0.46	0.97	0.47	<b>0.63</b>
4	M4	La Avellana	0.30	0.24	0.50	0.1	<b>0.28</b>
5	M5	Rama Verde		0.38	0.83	0.17	<b>0.46</b>
6	M6	Entrada Rama Verde	0.42	0.30	1.05	0.21	<b>0.49</b>
7	M7	Agua Dulce	0.70	0.38	1.25	0.31	<b>0.66</b>
8	M8	Entrada Matadero		0.19	1.16	0.29	<b>0.55</b>
9	M9	Entrada Güiscoyol		0.27	1.03	0.14	<b>0.48</b>
10	M10	Monterrico	0.27	0.29	1.01	0.14	<b>0.43</b>
<b>Promedio</b>			<b>0.44</b>	<b>0.32</b>	<b>0.98</b>	<b>0.22</b>	<b>0.49</b>

Fuente: Datos propios, proyecto B15-2021.

*Cuadro 11. Profundidad en metros de 10 sitios de muestreo ubicados en el Canal de Chiquimulilla y Reserva Natural de Usos Múltiples Monterrico, durante el 2021.*

No.	Código	Nombre	Profundidad en metros				Promedio
			Muestreo				
			1	2	3	4	
1	M1	Puente Grande	0.50	0.41	0.71	0.41	<b>0.51</b>
2	M2	El Pumpo		0.89	1.52	0.62	<b>1.01</b>
3	M3	San Pedro		1.38	1.62	1.46	<b>1.49</b>
4	M4	La Avellana	0.70	0.74	1.38	0.42	<b>0.81</b>
5	M5	Rama Verde		0.39	0.83	0.44	<b>0.55</b>
6	M6	Entrada Rama Verde	0.84	0.35	1.05	0.43	<b>0.67</b>
7	M7	Agua Dulce	1.70	0.38	1.93	1.55	<b>1.39</b>
8	M8	Entrada Matadero		0.19	1.72	0.98	<b>0.96</b>
9	M9	Entrada Güiscoyol		0.27	1.03	0.38	<b>0.56</b>
10	M10	Monterrico	1.30	1.21	1.01	0.68	<b>1.05</b>
<b>Promedio</b>			<b>1.01</b>	<b>0.62</b>	<b>1.28</b>	<b>0.74</b>	<b>0.91</b>

Fuente: Datos propios, proyecto B15-2021.

## 13.1.2 Resultados de nutrientes, especies de nitrógeno y fósforo

*Cuadro 12. Nitrógeno de amonio medido en 10 sitios de muestreo ubicados en el Canal de Chiquimulilla y la Reserva Natural de Usos Múltiples Monterrico, durante el 2021.*

No.	Código	Nombre	Nitrógeno de Amonio en mg/L			Promedio
			Muestreo			
			1	2	3	
1	M1	Puente Grande	0.0132	0.0648	0.0231	<b>0.0337</b>
2	M2	El Pumpo		0.0706	0.0228	<b>0.0467</b>
3	M3	San Pedro		0.0696	0.0252	<b>0.0474</b>
4	M4	La Avellana	0.0125	0.0827	0.0215	<b>0.0389</b>
5	M5	Rama Verde	0.0067	0.0768	0.0243	<b>0.0359</b>
6	M6	Entrada Rama Verde		0.0786	0.0218	<b>0.0502</b>
7	M7	Agua Dulce	0.0172	0.0944	0.0218	<b>0.0444</b>
8	M8	Entrada Matadero		0.1087	0.0230	<b>0.0658</b>
9	M9	Entrada Güisoyol		0.0800	0.0224	<b>0.0512</b>
10	M10	Monterrico	0.0181	0.0816	0.0226	<b>0.0407</b>
		<b>Promedio</b>	<b>0.0135</b>	<b>0.0808</b>	<b>0.0228</b>	<b>0.0390</b>

Fuente: Datos propios, proyecto B15-2021.

*Cuadro 13. Nitrógeno de nitrito medidos en 10 sitios de muestreo ubicados en el Canal de Chiquimulilla y Reserva Natural de Usos Múltiples Monterrico, durante el 2021.*

No.	Código	Nombre	Nitrógeno de nitrito en mg/L				Promedio
			Muestreo				
			1	2	3	4	
1	M1	Puente Grande	0.0053	0.0061	0.0192	0.0062	<b>0.0092</b>
2	M2	El Pumpo		0.0052	0.0207	0.0095	<b>0.0118</b>
3	M3	San Pedro		0.0049	0.0198	0.0065	<b>0.0104</b>
4	M4	La Avellana	0.0068	0.0105	0.0219	0.0119	<b>0.0128</b>
5	M5	Rama Verde	0.0042	0.0077	0.0205	0.0088	<b>0.0103</b>
6	M6	Entrada Rama Verde		0.0066	0.0193	0.0115	<b>0.0125</b>
7	M7	Agua Dulce	0.003	0.0123	0.0202	0.0065	<b>0.0105</b>
8	M8	Entrada Matadero		0.0091	0.0205	0.0109	<b>0.0135</b>
9	M9	Entrada Güisoyol		0.0075	0.0196	0.0097	<b>0.0123</b>
10	M10	Monterrico	0.0031	0.0075	0.0193	0.0091	<b>0.0098</b>
		<b>Promedio</b>	<b>0.0045</b>	<b>0.0077</b>	<b>0.0201</b>	<b>0.0091</b>	<b>0.0103</b>

Fuente: Datos propios, proyecto B15-2021.

*Cuadro 14. Nitrógeno total medido en 10 sitios de muestreo ubicados en el Canal de Chiquimulilla y Reserva Natural de Usos Múltiples Monterrico, durante 2021.*

		<b>Nitrógeno Total</b>			
		Muestreo			
Código	Nombre	1	2	3	Promedio
M1	Puente Grande	0.0865	0.1684	0.2082	<b>0.1544</b>
M2	El Pumpo		0.2233	0.1899	<b>0.2066</b>
M3	San Pedro		0.2433	0.3029	<b>0.2731</b>
M4	La Avellana	0.0578	0.1393	0.0621	<b>0.0864</b>
M5	Rama Verde	0.0782	0.1335	0.1702	<b>0.1273</b>
M6	Entrada Rama Verde		0.2512	0.0599	<b>0.1556</b>
M7	Agua Dulce	0.0513	0.1644	0.2485	<b>0.1547</b>
M8	Entrada Matadero		0.1725	0.2728	<b>0.2226</b>
M9	Entrada Güiscoyol		0.1059	0.2271	<b>0.1665</b>
M10	Monterrico	0.1156	0.0808	0.2256	<b>0.1407</b>
	<b>Promedio</b>	<b>0.0779</b>	<b>0.1683</b>	<b>0.1967</b>	<b>0.1476</b>

Fuente: Datos propios, proyecto B15-2021.

*Cuadro 15. Fósforo de ortofosfatos medidos en 10 sitios de muestreo ubicados en el Canal de Chiquimulilla y Reserva Natural de Usos Múltiples Monterrico, durante 2021 y 2022.*

		<b>Fósforo de ortofosfatos en mg/L</b>					
		Muestreo					
No.	Código	Nombre	1	2	3	4	Promedio
1	M1	Puente Grande	0.0218	0.0156	0.0765	0.0319	<b>0.0364</b>
2	M2	El Pumpo		0.0484	0.1102	0.0858	<b>0.0815</b>
3	M3	San Pedro		0.0580	0.0495	0.0566	<b>0.0547</b>
4	M4	La Avellana	0.0533	0.0305	0.1191	0.0723	<b>0.0688</b>
5	M5	Rama Verde	0.0265	0.0216	0.0787	0.0656	<b>0.0481</b>
6	M6	Entrada Rama Verde		0.0641	0.0930	0.0700	<b>0.0757</b>
7	M7	Agua Dulce	0.0353	0.0651	0.1229	0.0970	<b>0.0801</b>
8	M8	Entrada Matadero		0.0363	0.0997	0.1509	<b>0.0956</b>
9	M9	Entrada Güiscoyol		0.0409	0.1244	0.0341	<b>0.0665</b>
10	M10	Monterrico	0.0158	0.0467	0.0862	0.0633	<b>0.0530</b>
		<b>Promedio</b>	<b>0.0305</b>	<b>0.0427</b>	<b>0.0960</b>	<b>0.0728</b>	<b>0.0660</b>

Fuente: Datos propios, proyecto B15-2021.

# Informe final proyecto de investigación 2021

Dirección General de Investigación –DIGI-

*Cuadro 16. Fósforo total medido en 10 sitios de muestreo ubicados en el Canal de Chiquimulilla y Reserva de Usos Múltiples Monterrico, durante el 2021.*

No.	Código	Nombre	Fósforo Total en mg/L			Promedio
			Muestreo			
			1	2	3	
1	M1	Puente Grande	0.0330	0.0375	0.1282	<b>0.0662</b>
2	M2	El Pumpo		0.0673	0.2288	<b>0.1481</b>
3	M3	San Pedro		0.0730	0.2265	<b>0.1498</b>
4	M4	La Avellana	0.0721	0.0501	0.2415	<b>0.1212</b>
5	M5	Rama Verde	0.0328	0.0380	0.2170	<b>0.0959</b>
6	M6	Entrada Rama Verde		0.0719	0.2029	<b>0.1374</b>
7	M7	Agua Dulce	0.0659	0.0665	0.2064	<b>0.1129</b>
8	M8	Entrada Matadero		0.0406	0.2187	<b>0.1297</b>
9	M9	Entrada Güiscoyol		0.0491	0.2901	<b>0.1696</b>
10	M10	Monterrico	0.0256	0.0687	0.2607	<b>0.1183</b>
		<b>Promedio</b>	<b>0.0459</b>	<b>0.0563</b>	<b>0.2221</b>	<b>0.1081</b>

Fuente: Datos propios, proyecto B15-2021.

*Cuadro 17. Relación entre el promedio de fósforo total y nitrógeno total de los sitios de muestreo ubicados en el Canal de Chiquimulilla y Reserva de Usos Múltiples Monterrico, durante el 2021.*

No.	Código	Nombre	P-total	N-total	Relación NT/PT
			Promedio	Promedio	
1	M1	Puente Grande	0.0662	0.1544	2
2	M2	El Pumpo	0.1481	0.2066	1
3	M3	San Pedro	0.1498	0.2731	2
4	M4	La Avellana	0.1212	0.0864	1
5	M5	Rama Verde	0.0959	0.1273	1
6	M6	Entrada Rama Verde	0.1374	0.1556	1
7	M7	Agua Dulce	0.1129	0.1547	1
8	M8	Entrada Matadero	0.1297	0.2226	2
9	M9	Entrada Güiscoyol	0.1696	0.1665	1
10	M10	Monterrico	0.1183	0.1407	1
		<b>Promedio</b>	<b>0.1081</b>	<b>0.1476</b>	<b>1</b>

Fuente: Datos propios, proyecto B15-2021.

### 13.1.3 Resultados de demanda bioquímica de oxígeno -DBO-

*Cuadro 18. Demanda bioquímica de oxígeno -DBO- medida en 10 sitios de muestreo ubicados en el Canal de Chiquimulilla y Reserva de Usos Múltiples Monterrico, durante 2021.*

			<b>Demanda Bioquímica de Oxígeno en mg/L</b>			
			Muestreo			Promedio
No.	Código	Nombre	1	2	3	
			mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
1	M1	Puente Grande	5.03	2.06	1.73	<b>2.94</b>
2	M2	El Pumpo		1.95	2.16	<b>2.05</b>
3	M3	San Pedro		3.68	2.81	<b>3.24</b>
4	M4	La Avellana	7.36	4.44	2.92	<b>4.90</b>
5	M5	Rama Verde	8.76	6.60	3.98	<b>6.45</b>
6	M6	Entrada Rama Verde		5.08	1.19	<b>3.14</b>
7	M7	Agua Dulce	6.06	4.44	0.87	<b>3.79</b>
8	M8	Entrada Matadero		4.76	0.97	<b>2.86</b>
9	M9	Entrada Güisoyol		3.46	3.03	<b>3.25</b>
10	M10	Monterrico	0.32	2.60	5.63	<b>2.85</b>
<b>Promedio</b>			<b>5.51</b>	<b>3.91</b>	<b>2.53</b>	<b>3.55</b>

Fuente: Datos propios, proyecto B15-2021.

### 13.1.4 Resultados de sólidos

*Cuadro 19. Sólidos sedimentables medidos en 10 sitios de muestreo ubicados en el Canal de Chiquimulilla y Reserva de Usos Múltiples Monterrico, durante el 2021 y 2022.*

			<b>Sólidos sedimentables en mL/L</b>				
			Muestreo				Promedio
No.	Código	Nombre	1	2	3	4	
			mL/L	mL/L	mL/L	mL/L	mL/L
1	M1	Puente Grande	< 0.1	< 0.1	< 0.1	0.3	<b>&lt; 0.1</b>
2	M2	El Pumpo		< 0.1	< 0.1	0.1	<b>&lt; 0.1</b>
3	M3	San Pedro		< 0.1	< 0.1	0.1	<b>&lt; 0.1</b>
4	M4	La Avellana	0.1	0.1	0.1	0.4	<b>0.2</b>
5	M5	Rama Verde		< 0.1	< 0.1	0.1	<b>&lt; 0.1</b>
6	M6	Entrada Rama Verde	< 0.1	< 0.1	< 0.1	0.1	<b>&lt; 0.1</b>
7	M7	Agua Dulce	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	<b>&lt; 0.1</b>
8	M8	Entrada Matadero		< 0.1	< 0.1	0.3	<b>&lt; 0.1</b>
9	M9	Entrada Güisoyol		< 0.1	< 0.1	0.3	<b>&lt; 0.1</b>
10	M10	Monterrico	< 0.1	< 0.1	< 0.1	0.5	<b>&lt; 0.1</b>
<b>Promedio</b>			<b>&lt; 0.1</b>	<b>&lt; 0.1</b>	<b>&lt; 0.1</b>	<b>0.2</b>	<b>&lt; 0.1</b>

Fuente: Datos propios, proyecto B15-2021.

# Informe final proyecto de investigación 2021

Dirección General de Investigación –DIGI–

*Cuadro 20. Sólidos suspendidos medidos en 10 sitios de muestreo ubicados en el Canal de Chiquimulilla y Reserva Natural de Usos Múltiples Monterrico, durante 2021.*

<b>Sólidos suspendidos en mg/L</b>						
No.	Código	Nombre	Muestreo			Promedio
			1	2	3	
1	M1	Puente Grande	202	173	16	<b>130</b>
2	M2	El Pumpo		104	5	<b>55</b>
3	M3	San Pedro		163	3	<b>83</b>
4	M4	La Avellana	222	137	20	<b>126</b>
5	M5	Rama Verde		188	3	<b>96</b>
6	M6	Entrada Rama Verde	203	139	7	<b>116</b>
7	M7	Agua Dulce	207	103	5	<b>105</b>
8	M8	Entrada Matadero		93	5	<b>49</b>
9	M9	Entrada Güisoyol		190	2	<b>96</b>
10	M10	Monterrico	224	175	5	<b>135</b>
		<b>Promedio</b>	<b>212</b>	<b>147</b>	<b>7</b>	<b>122</b>

Fuente: Datos propios, proyecto B15-2021.

*Cuadro 21. Sólidos disueltos medidos en 10 sitios de muestreo ubicados en el Canal de Chiquimulilla y Reserva Natural de Usos Múltiples Monterrico, durante 2021.*

<b>Sólidos disueltos en mg/L</b>						
No.	Código	Nombre	Muestreo			Promedio
			1	2	3	
1	M1	Puente Grande	43	127	434	<b>201</b>
2	M2	El Pumpo		87	300	<b>194</b>
3	M3	San Pedro		101	205	<b>153</b>
4	M4	La Avellana	7	46	604	<b>219</b>
5	M5	Rama Verde		74	263	<b>169</b>
6	M6	Entrada Rama Verde	64	78	355	<b>166</b>
7	M7	Agua Dulce	72	89	349	<b>170</b>
8	M8	Entrada Matadero		114	323	<b>219</b>
9	M9	Entrada Güisoyol		54	285	<b>170</b>
10	M10	Monterrico	43	52	226	<b>107</b>
		<b>Promedio</b>	<b>45.8</b>	<b>82.2</b>	<b>334</b>	<b>177</b>

Fuente: Datos propios, proyecto B15-2021.

# Informe final proyecto de investigación 2021

Dirección General de Investigación –DIGI-

*Cuadro 22. Sólidos totales medidos en 10 sitios de muestreo ubicados en el Canal de Chiquimulilla y Reserva de Usos Múltiples Monterrico, durante 2021 y 2022.*

No.	Código	Nombre	Muestreo			Promedio
			1 mg/L	2 mg/L	4 mg/L	
1	M1	Puente Grande	26169	36524	11858	<b>31347</b>
2	M2	El Pumpo		18786	16521	<b>18786</b>
3	M3	San Pedro		26506	13431	<b>26506</b>
4	M4	La Avellana	29978	28258	10086	<b>29118</b>
5	M5	Rama Verde		30230	7451	<b>30230</b>
6	M6	Entrada Rama Verde	30108	33408	11429	<b>31758</b>
7	M7	Agua Dulce	29293	18386	40632	<b>23840</b>
8	M8	Entrada Matadero		17977	19117	<b>17977</b>
9	M9	Entrada Güisoyol		37581	11153	<b>37581</b>
10	M10	Monterrico	35592	30594	18455	<b>33093</b>
		<b>Promedio</b>	<b>30228</b>	<b>27825</b>	<b>16013</b>	<b>29027</b>

Fuente: Datos propios, proyecto B15-2021.

### 13.1.5 Resultados de parámetros microbiológicos

*Cuadro 23. Coliformes totales medidos en 10 sitios de muestreo ubicados en el Canal de Chiquimulilla y Reserva Natural de Usos Múltiples Monterrico, durante 2021.*

No.	Código	Nombre	Muestreo			Promedio
			1	2	3	
			NMP/100 mL	NMP/100 mL	NMP/100 mL	NMP/100 mL
1	M1	Puente Grande	1.1 x 10 <sup>4</sup>	>2.4 x 10 <sup>4</sup>	>2.4 x 10 <sup>4</sup>	<b>&gt;2.0 x 10<sup>4</sup></b>
2	M2	El Pumpo		>2.4 x 10 <sup>4</sup>	>2.4 x 10 <sup>4</sup>	<b>&gt;2.4 x 10<sup>4</sup></b>
3	M3	San Pedro		>2.4 x 10 <sup>4</sup>	>2.4 x 10 <sup>4</sup>	<b>&gt;2.4 x 10<sup>4</sup></b>
4	M4	La Avellana	>2.4 x 10 <sup>4</sup>	>2.4 x 10 <sup>4</sup>	1100	<b>&gt;1.6 x 10<sup>4</sup></b>
5	M5	Rama Verde	750	1.1 x 10 <sup>3</sup>	>2.4 x 10 <sup>4</sup>	<b>8.4 x 10<sup>3</sup></b>
6	M6	Entrada Rama Verde	460	>2.4 x 10 <sup>4</sup>	460	<b>8.0 x 10<sup>3</sup></b>
7	M7	Agua Dulce	1.1 x 10 <sup>4</sup>	>2.4 x 10 <sup>4</sup>	>2.4 x 10 <sup>4</sup>	<b>&gt;2.0 x 10<sup>4</sup></b>
8	M8	Entrada Matadero		>2.4 x 10 <sup>4</sup>	>2.4 x 10 <sup>4</sup>	<b>&gt;2.4 x 10<sup>4</sup></b>
9	M9	Entrada Güisoyol		>2.4 x 10 <sup>4</sup>	>2.4 x 10 <sup>4</sup>	<b>&gt;2.4 x 10<sup>4</sup></b>
10	M10	Monterrico	>2.4 x 10 <sup>4</sup>	>2.4 x 10 <sup>4</sup>	1100	<b>&gt;1.6 x 10<sup>4</sup></b>
		<b>Promedio</b>	<b>1.2E+104</b>	<b>2.2E+104</b>	<b>1.7E+104</b>	<b>&gt;1.7 x 10<sup>4</sup></b>

Fuente: Datos propios, proyecto B15-2021.

# Informe final proyecto de investigación 2021

Dirección General de Investigación –DIGI-

*Cuadro 24. Escherichia coli medida en 10 sitios de muestreo ubicados en el Canal de Chiquimulilla y Reserva Natural de Usos Múltiples Monterrico, durante 2021.*

No.	Código	Nombre	Muestreo			Promedio
			1	2	3	
			NMP/100 mL	NMP/100 mL	NMP/100 mL	NMP/100 mL
1	M1	Puente Grande	230	$>2.4 \times 10^4$	43	<b>8.0E+10<sup>3</sup></b>
2	M2	El Pumpo		$>2.4 \times 10^4$	240	<b>1.E+10<sup>4</sup></b>
3	M3	San Pedro		$>2.4 \times 10^4$	23	<b>1.E+10<sup>4</sup></b>
4	M4	La Avellana	$2.1 \times 10^3$	$1.1 \times 10^3$	93	<b>9.3</b>
5	M5	Rama Verde	70	93	240	<b>134</b>
6	M6	Entrada Rama Verde		460	4	<b>232</b>
7	M7	Agua Dulce	90	460	23	<b>191</b>
8	M8	Entrada Matadero		$1.1 \times 10^3$	23	<b>6.E+10<sup>2</sup></b>
9	M9	Entrada Güisoyol		$1.1 \times 10^3$	1100	<b>6.E+10<sup>2</sup></b>
10	M10	Monterrico	230	460	93	<b>261</b>
		<b>Promedio</b>	<b>155</b>	<b>368.25</b>	<b>188.2</b>	<b>3.E+10<sup>3</sup></b>

Fuente: Datos propios, proyecto B15-2021.

*Cuadro 25. Shigella medida en 10 sitios de muestreo, ubicados en el Canal de Chiquimulilla y Reserva de Usos Múltiples Monterrico, durante 2021.*

No.	Código	Nombre	Muestreo		Promedio
			2	3	
			NMP /100 mL	NMP /100 mL	NMP /100 mL
1	M1	Puente Grande	Ausencia	Ausencia	<b>Ausencia</b>
2	M2	El Pumpo	<b>Presencia</b>	Ausencia	
3	M3	San Pedro	Ausencia	Ausencia	<b>Ausencia</b>
4	M4	La Avellana	Ausencia	Ausencia	<b>Ausencia</b>
5	M5	Rama Verde	Ausencia	Ausencia	<b>Ausencia</b>
6	M6	Entrada Rama Verde	Ausencia	Ausencia	<b>Ausencia</b>
7	M7	Agua Dulce	<b>Presencia</b>	Ausencia	
8	M8	Entrada Matadero	Ausencia	Ausencia	<b>Ausencia</b>
9	M9	Entrada Güisoyol	Ausencia	Ausencia	<b>Ausencia</b>
10	M10	Monterrico	Ausencia	Ausencia	<b>Ausencia</b>
		<b>Promedio</b>	<b>Ausencia</b>	<b>Ausencia</b>	<b>Ausencia</b>

Fuente: Datos propios, proyecto B15-2021.

*Cuadro 26. Salmonella medida en sitios de muestreo ubicados en el Canal de Chiquimulilla y Reserva Natural de Usos Múltiples Monterrico, durante 2021.*

No.	Código	Nombre	Muestreo		Promedio
			2	3	
			NMP /100 mL	NMP /100 mL	
1	M1	Puente Grande	Ausencia	Ausencia	<b>Ausencia</b>
2	M2	El Pumpo	Ausencia	Ausencia	<b>Ausencia</b>
3	M3	San Pedro	Ausencia	Ausencia	<b>Ausencia</b>
4	M4	La Avellana	Ausencia	Ausencia	<b>Ausencia</b>
5	M5	Rama Verde	Ausencia	Ausencia	<b>Ausencia</b>
6	M6	Entrada Rama Verde	Ausencia	Ausencia	<b>Ausencia</b>
7	M7	Agua Dulce	Ausencia	Ausencia	<b>Ausencia</b>
8	M8	Entrada Matadero	Ausencia	Ausencia	<b>Ausencia</b>
9	M9	Entrada Güiscol	Ausencia	Ausencia	<b>Ausencia</b>
10	M10	Monterrico	Ausencia	Ausencia	<b>Ausencia</b>
		<b>Promedio</b>	<b>Ausencia</b>	<b>Ausencia</b>	<b>Ausencia</b>

Fuente: Datos propios, proyecto B15-2021.

### 13.1.6 Resultados de metales

*Cuadro 27. Concentración de metales en peces colectados en el Canal de Chiquimulilla y Reserva de Usos Múltiples Monterrico, durante el 2021.*

	<b>Cu</b>	<b>Zn</b>	<b>Cd</b>	<b>Pb</b>
<b>Código</b>	<b>Concentración (mg/kg)</b>	<b>Concentración (mg/kg)</b>	<b>Concentración (mg/kg)</b>	<b>Concentración (mg/mg)</b>
M1	ND	5.73	6.11	ND
M2	ND	7.47	4.11	ND
M3	ND	8.02	2.37	ND
M4	ND	6.25	1.56	ND
M5	ND	5.37	1.02	ND
M6	ND	7.25	0.60	ND
M7	ND	6.70	ND	ND
M8	ND	6.54	ND	ND
M9	ND	8.19	ND	ND

# Informe final proyecto de investigación 2021

Dirección General de Investigación –DIGI-

M10	ND	7.07	1.17	ND
M11	ND	5.01	1.49	ND
M12	ND	6.82	25.78	ND
M13	ND	5.84	19.59	ND
M14	ND	3.55	12.19	ND
M15	ND	6.60	8.35	ND
M16	ND	4.56	2.71	ND
M17	ND	6.42	1.18	ND
M18	ND	4.09	0.03	ND
M19	ND	5.29	1.03	ND
M20	ND	9.90	1.59	ND
M21	ND	11.27	1.22	ND
M22	ND	6.11	1.27	ND
M23	ND	5.93	0.64	ND
M24	ND	5.93	1.05	ND
M25	ND	7.11	1.87	ND
M26	ND	6.06	1.92	ND
M27	ND	7.19	2.14	ND
M28	ND	5.45	2.22	ND
M29	ND	6.52	1.93	ND
M30	ND	3.71	2.19	ND
M31	ND	1.00	5.26	ND
M32	ND	0.00	3.63	ND
M33	ND	5.51	2.32	ND
M34	ND	4.53	2.92	ND
M35	ND	24.12	9.62	ND
M36	ND	8.60	3.59	ND
M37	ND	11.80	5.00	ND
M38	ND	14.38	5.33	ND
M39	ND	7.76	4.62	ND
M40	ND	4.43	4.09	ND
M41	ND	16.32	ND	ND
M42	ND	12.37	12.59	ND
M43	ND	239.83	8.58	ND
M44	ND	9.25	5.69	ND
M45	ND	8.75	7.94	ND
M46	ND	13.45	9.20	ND

# Informe final proyecto de investigación 2021

Dirección General de Investigación –DIGI-

M47	ND	9.44	4.15	ND
M48	ND	9.71	5.90	ND
M49	17.38	10.68	36.23	ND
M50	17.64	13.72	28.80	ND
M51	28.27	7.51	9.93	ND
M52	42.18	5.81	6.91	ND
M53	31.21	6.88	6.52	ND
M54	31.70	6.23	4.87	ND
M55	37.13	6.12	2.80	ND
M56	25.83	6.46	1.99	ND
M57	22.11	6.13	2.50	ND
M58	22.69	6.23	2.57	ND
M59	11.02	6.67	2.69	ND
M60	0.00	16.87	5.69	ND
M61	11.93	6.20	2.31	ND
M62	11.80	6.16	2.81	ND
<b>Promedio</b>	<b>22.21</b>	<b>11.37</b>	<b>5.59</b>	<b>ND</b>

Fuente: Datos propios, proyecto B15-2021.

## 13.1.7 Resultados de microplásticos

Cuadro 28. Microplásticos identificados en muestras de sedimento colectadas en el Canal de Chiquimulilla y Reserva Natural de Usos Múltiples Monterrico, durante el 2021.

	Punto de muestreo	Fibra					Fragmento					Lámina			Micro esfera	Espuma					
		Azul	Transparente	Rojo	Verde	Negro	Rojo	Azul	Verde	Blanco	Transparente	Negro	Amarillo	Amarilla	Azul	Transparente	Blanca	Transparente	Blanco	Amarilla	
Primer muestreo de sedimentos	Monterrico	R1																			
		R2												1							
		R3																			
	Puente Grande	R1	3																		
		R2	1	1				1													
		R3	1																		
	Entrada Rama Verde	R1		1	2																
		R2	2			1															
		R3					1		1												
	La Avellana	R1								2											
		R2				1			1	3	1								1	1	

# Informe final proyecto de investigación 2021

Dirección General de Investigación –DIGI-

	R3			1				1										1	
Agua Dulce	R1	1																	
	R2																		
	R3																	1	
San Pedro	R1	1	1					1										1	
	R2								2									1	1
	R3								1									1	
Puente Grande	R1	1																	
	R2																		
	R3																		
Rama Verde Adentro	R1					6													
	R2			2		3		2											
	R3					1		1											
La Avellana	R1			1															
	R2					1													
	R3							2	1				1						
Agua Dulce	R1																		
	R2																		
	R3												1						
Entrada Agua dulce	R1							1						1				1	
	R2																		
	R3								1										
El Pumpo	R1			1					1									1	
	R2																		
	R3																		
Monterrico	R1								1	2									
	R2	1						1	1	2									
	R3								1										
Entrada Güisoyol	R1							1	1										
	R2								2										
	R3								1										
EL Matadero	R1																		
	R2																		
Puente Grande	R1	1																	
	R2																		
	R3																		
Monterrico	R1	1		1					1	1									
	R2																		
	R3													1					
EL Matadero	R1	1							1	1									
	R1							1	1									1	

# Informe final proyecto de investigación 2021

Dirección General de Investigación –DIGI-

		R2																				
	Suma		14	3	8	2	1	12	2	3	14	15	2	5	1	1	1	2	2	7	2	
	Total		28				53						5			2	9					

Nota: Casillas vacías indican 0 MPS observados. R: replica.

Fuente: datos propios del proyecto B15-2021

*Cuadro 29. Determinación de microplásticos encontrados en tractos digestivos de peces colectados en el Canal de Chiquimulilla y Reserva Natural de Usos Múltiples Monterrico, durante 2021.*

No.	Especie	Fibras						Fragmento						Lámina					Espuma	Esponja	Total	
		Trans	Azul	Roja	Negra	Amarillo	Verde	Azul	Amarillo	Rojo	Trans opaco	Blanco	Verde	Roja	Blanca	Trans	Gris	Negro	Blanco opaco	Verde		
1	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)	1	1	1	1																	4
2	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)	1		1															1			3
3	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)						1			1												2
4	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)		1		1																	2
5	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)	1	1	1			1															4
6	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)	1		1			1															3
7	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)						1															1
8	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)																					0
9	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)								1					1								2
10	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)		1		1									1								3
11	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)		1											1								2
12	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)							1														1
13	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)									8												8
14	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)									1												1
15	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)			1			2															3
16	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)					1								2								3
17	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)													2								2
18	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)																					0
19	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)														1							1
20	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)													1								1







# Informe final proyecto de investigación 2021

Dirección General de Investigación –DIGI-

104	<i>Poecilia butleri</i> (Jordan, 1889)													1							1
105	<i>Poecilia butleri</i> (Jordan, 1889)																				0
106	<i>Poecilia butleri</i> (Jordan, 1889)									1											1
107	<i>Poecilia butleri</i> (Jordan, 1889)																				0
108	<i>Centropomus viridis</i> (Lockington, 1877)														1						1
109	<i>Centropomus armatus</i> (Gill, 1863)																				0
110	<i>Mugil curema</i> (Valencienne, 1836)													1							1
111	<i>Mugil curema</i> (Valencienne, 1836)										1										1
112	<i>Astatheros macracanthus</i> (Günther, 1864)			1																	1
113	<i>Penaeus vannamei</i> (Boone, 1931)																				0
114	<i>Penaeus vannamei</i> (Boone, 1931)																				0
115	<i>Penaeus vannamei</i> (Boone, 1931)																				0
116	<i>Penaeus vannamei</i> (Boone, 1931)	1																			1
117	<i>Penaeus vannamei</i> (Boone, 1931)	1		1																	2
118	<i>Penaeus vannamei</i> (Boone, 1931)			1	1	1	1														4
<b>Total</b>		<b>17</b>	<b>18</b>	<b>19</b>	<b>5</b>	<b>2</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>1</b>	<b>16</b>	<b>10</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>22</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>6</b>	<b>1</b>	<b>141</b>

Cuadro 30. Determinación de microplásticos en branquias de peces colectados en la región del Canal de Chiquimulilla y Reserva Natural de Usos Múltiples Monterrico, durante el 2021.

No.	Especie	Fibra				Fragmento			Lámina	Total
		Rojo	Azul	Negro	Verde	Rojo	Azul	Verde	Gris	
1	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)	1								1
2	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)	1								1
3	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)									0
4	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)									0
5	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)									0
6	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)									0
7	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)					1				1

# Informe final proyecto de investigación 2021

Dirección General de Investigación –DIGI-

8	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)		1				1		2
9	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)								0
10	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)	1							1
11	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)								0
12	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)								0
13	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)								0
14	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)								0
15	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)								0
16	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)		1						1
17	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)		1	1					2
18	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)					1			1
19	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)								0
20	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)			1					1
21	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)								0
22	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)								0
23	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)	1		1					2
24	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)			1					1
25	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)								0
26	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)								0
27	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)								0
28	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)								0
29	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)				1				1
30	<i>Eleotris picta</i> (Kner, 1863)								0
31	<i>Mugil curema</i> (Valen- cienne, 1836)		1						1
32	<i>Mugil curema</i> (Valen- cienne, 1836)								0
33	<i>Mugil curema</i> (Valen- cienne, 1836)						1		1
34	<i>Mugil curema</i> (Valen- cienne, 1836)								0
35	<i>Cathorops steindach- neri</i> (Gilbert & Starks, 1904)								0
36	<i>Cathorops fuerthii</i> (Steindachner, 1876)		1						1

# Informe final proyecto de investigación 2021

Dirección General de Investigación –DIGI-

37	<i>Lile stolifera</i> (Jordan & Gilbert, 1882)									0
38	<i>Lile stolifera</i> (Jordan & Gilbert, 1882)									0
39	<i>Gobionellus microdon</i> (Gilbert, 1892)									0
40	<i>Gobionellus microdon</i> (Gilbert, 1892)									0
41	<i>Diapterus peruvianus</i> (Cuvier, 1830)				1					1
42	<i>Diapterus peruvianus</i> (Cuvier, 1830)									0
43	<i>Diapterus peruvianus</i> (Cuvier, 1830)	1								1
44	<i>Diapterus peruvianus</i> (Cuvier, 1830)		1							1
45	<i>Diapterus peruvianus</i> (Cuvier, 1830)									0
46	<i>Diapterus peruvianus</i> (Cuvier, 1830)	1								1
47	<i>Diapterus peruvianus</i> (Cuvier, 1830)									0
48	<i>Diapterus peruvianus</i> (Cuvier, 1830)	1				1				2
49	<i>Diapterus peruvianus</i> (Cuvier, 1830)		1							1
50	<i>Diapterus peruvianus</i> (Cuvier, 1830)			1						1
51	<i>Penaeus vannamei</i> (Boone, 1931)									0
52	<i>Penaeus vannamei</i> (Boone, 1931)									0
53	<i>Penaeus vannamei</i> (Boone, 1931)				1					1
54	<i>Penaeus vannamei</i> (Boone, 1931)									0
55	<i>Penaeus vannamei</i> (Boone, 1931)									0
56	<i>Penaeus vannamei</i> (Boone, 1931)					1				1
57	<i>Penaeus vannamei</i> (Boone, 1931)			1						1
58	<i>Penaeus vannamei</i> (Boone, 1931)	1				1				2
59	<i>Penaeus vannamei</i> (Boone, 1931)									0
60	<i>Penaeus vannamei</i> (Boone, 1931)									0
61	<i>Penaeus vannamei</i> (Boone, 1931)									0
62	<i>Penaeus vannamei</i> (Boone, 1931)									0
63	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)									0
64	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)		1							1
65	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)									0

# Informe final proyecto de investigación 2021

Dirección General de Investigación –DIGI-

66	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)									0
67	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)									0
68	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)									0
69	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)									0
70	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)									0
71	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)									0
72	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)									0
73	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)									0
74	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)									0
75	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)									0
76	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)									0
77	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)									0
78	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)									0
79	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)									0
80	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)									0
81	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)		1							1
82	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)			1						1
83	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)		1							1
84	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)									0
85	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)									0
86	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)									0
87	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)									0
88	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)									0
89	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)									0
90	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)									0
91	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)									0
92	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)					1				1
93	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)							1		1
94	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)									0

# Informe final proyecto de investigación 2021

Dirección General de Investigación –DIGI-

95	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)									0
96	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)									0
97	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)									0
98	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)									0
99	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)									0
100	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)									0
101	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)									0
102	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)									0
103	<i>Poecilia butleri</i> (Jordan, 1889)									0
104	<i>Poecilia butleri</i> (Jordan, 1889)					1				1
105	<i>Poecilia butleri</i> (Jordan, 1889)									0
106	<i>Poecilia butleri</i> (Jordan, 1889)									0
107	<i>Poecilia butleri</i> (Jordan, 1889)		1							1
108	<i>Centropomus viridis</i> (Lockington, 1877)									0
109	<i>Centropomus armatus</i> (Gill, 1863)		1							1
110	<i>Mugil curema</i> (Valencienne, 1836)									0
111	<i>Mugil curema</i> (Valencienne, 1836)									0
112	<i>Astatheros macracanthus</i> (Günther, 1864)						1			1
113	<i>Penaeus vannamei</i> (Boone, 1931)									0
114	<i>Penaeus vannamei</i> (Boone, 1931)									0
115	<i>Penaeus vannamei</i> (Boone, 1931)									0
116	<i>Penaeus vannamei</i> (Boone, 1931)									0
117	<i>Penaeus vannamei</i> (Boone, 1931)									0
118	<i>Penaeus vannamei</i> (Boone, 1931)									0
<b>Total</b>		8	12	7	3	7	2	1	1	41
		30				10				

*Cuadro 31. Registro de variables biológicas de organismos colectados en el Canal de Chiquimulilla y Reserva Natural de Usos Múltiples Monterrico, durante 2021.*

No.	Especie	Peso (g)	Long total (cm)	Long intestino (cm)	Long estómago (cm)	Peso húmedo de branquias (g)
1	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)	55.6	15.5	80.5	4.5	2.4
2	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)	58	16	69.3	5	2.6
3	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)	62.9	16.5	85	5.5	3
4	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)	49.9	15.5	84.5	6	2
5	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)	77.3	16.7	99.5	6.6	3
6	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)	38.6	14	85.1	2.7	1.8
7	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)	125.2	19.6	82	7	4.6
8	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)	72.2	16.5	86	5.6	3.1
9	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)	61.9	16.7	116	5	2.7
10	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)	57.6	15.9	57	7	3
11	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)	32.2	12.3	87	4	1.3
12	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)	25	12.2	78.5	3.8	1.6
13	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)	49.1	13.7	82	4	2.8
14	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)	40.4	13.5	96	5.4	1.8
15	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)	47.1	17.5	120	7.5	4.1
16	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)	65.5	17	85	7.5	3.6
17	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)	21.7	11.8	83	5.5	1.2
18	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)	69.4	16.8	112.5	8.8	2.7
19	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)	51.6	15	64.5	8	2.2
20	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)	33.3	13	80	12	1.6
21	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)	60	16.5	113	7	2.5
22	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)	106.4	18	118.5	7.5	3.5
23	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)	59.5	16	120	7	3.1
24	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)	48.3	15.6	98	6	2.4
25	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)	31.4	13.6	78	5.5	1.7

# Informe final proyecto de investigación 2021

Dirección General de Investigación –DIGI-

26	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)	28.1	12.5	67	5.3	1.2
27	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)	55.9	16.1	101	5	2.8
28	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)	93.5	18.7	130	7	4.5
29	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)	25.3	12.2	43	8	1.3
30	<i>Eleotris picta</i> (Kner, 1863)	98.2	21.5	16	2	3.2
31	<i>Mugil curema</i> (Valencienne, 1836)	15.5	11.5	47	0	0.9
32	<i>Mugil curema</i> (Valencienne, 1836)	15.2	11.3	39.4	0	0.9
33	<i>Mugil curema</i> (Valencienne, 1836)	18.6	12.3	35	0	0.8
34	<i>Mugil curema</i> (Valencienne, 1836)	18.5	12.2	39	0	0.9
35	<i>Cathorops steindachneri</i> (Gilbert & Starks, 1904)	8.2	10	12.5	0.6	0.2
36	<i>Cathorops fuerthii</i> (Steindachner, 1876)	8.4	10.9	15.4	1.1	0.2
37	<i>Lile stolifera</i> (Jordan & Gilbert, 1882)	6.6	9.7	4.8	0.7	0.1
38	<i>Lile stolifera</i> (Jordan & Gilbert, 1882)	7.4	9.7	3.5	0.6	0.1
39	<i>Gobionellus microdon</i> (Gilbert, 1892)	13.8	14.2	37.5	0.9	0.5
40	<i>Gobionellus microdon</i> (Gilbert, 1892)	15.8	15.1	42.5	0.9	0.7
41	<i>Diapterus peruvianus</i> (Cuvier, 1830)	2.5	5.9			0
42	<i>Diapterus peruvianus</i> (Cuvier, 1830)	2.2	6			0
43	<i>Diapterus peruvianus</i> (Cuvier, 1830)	3.5	6.8	4.1	0.3	0
44	<i>Diapterus peruvianus</i> (Cuvier, 1830)	3.8	7			0.1
45	<i>Diapterus peruvianus</i> (Cuvier, 1830)	2.2	5.9			0
46	<i>Diapterus peruvianus</i> (Cuvier, 1830)	2.5	6.1			0
47	<i>Diapterus peruvianus</i> (Cuvier, 1830)	5.5	7.7	2.5	0.5	0.2
48	<i>Diapterus peruvianus</i> (Cuvier, 1830)	4.3	7.3			0
49	<i>Diapterus peruvianus</i> (Cuvier, 1830)	3.7	6.8			0
50	<i>Diapterus peruvianus</i> (Cuvier, 1830)	2.7	6.2			0
51	<i>Penaeus vannamei</i> (Boone, 1931)	6.5	11	4.4		0.2
52	<i>Penaeus vannamei</i> (Boone, 1931)	6.3	10.2	4.5		0.3
53	<i>Penaeus vannamei</i> (Boone, 1931)	6.2	10.5	5		0.4
54	<i>Penaeus vannamei</i> (Boone, 1931)	7	10.5	5.1		0.2

# Informe final proyecto de investigación 2021

Dirección General de Investigación –DIGI-

55	<i>Penaeus vannamei</i> (Boone, 1931)	7.2	10.5	5.4		0.4
56	<i>Penaeus vannamei</i> (Boone, 1931)	8.1	9.7	4		0.2
57	<i>Penaeus vannamei</i> (Boone, 1931)	7.7	10.7	5.1		0.2
58	<i>Penaeus vannamei</i> (Boone, 1931)	4.7	9.5	4.5		0.3
59	<i>Penaeus vannamei</i> (Boone, 1931)	4.1	8.9	4.3		0.2
60	<i>Penaeus vannamei</i> (Boone, 1931)	2.4	7.5	2.3		0
61	<i>Penaeus vannamei</i> (Boone, 1931)	5.2	9.5	4.5		0.3
62	<i>Penaeus vannamei</i> (Boone, 1931)	6.4	10.5	5		0.1
63	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)	82.5	17.7	77	9.2	3.7
64	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)	80.8	17.2	100	6.2	3.2
65	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)	90.3	17.6	93	4.6	4.1
66	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)	98.9	17.7	110	5.5	4.2
67	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)	49	15	92.5	5	1.8
68	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)	52	15.5	104	3	2.4
69	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)	60.5	16.4	105	2.6	2.6
70	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)	90	18	110	3.6	3.4
71	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)	74.1	16.6	112	5.5	2.3
72	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)	51.1	15.1	97	4.2	2.6
73	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)	114.7	19.5	82	5.7	4.6
74	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)	68.6	16.5	111	4.6	2.5
75	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)	44.9	14.5	89	4	1.7
76	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)	59.1	16.2	115	4	2.5
77	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)	40.3	14.5	80	3.5	2
78	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)	36.6	14	97	2.9	1.6
79	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)	52.8	16.4	108.5	3.9	2.3
80	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)	98.1	17.7	155	6	3.4
81	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)	77.6	17.3	152	6.3	3
82	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)	26.9	12.1	73	3.2	1.8
83	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)	80.6	18.5	111	3	4.4

# Informe final proyecto de investigación 2021

Dirección General de Investigación –DIGI-

84	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)	49.7	14.3	60	2.5	2
85	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)	84.5	16.5	120	4.1	3.5
86	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)	57.8	15.2	145.5	3.1	1.7
87	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)	69.4	17.5	94	4.3	3
88	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)	53.5	15.4	104	1.3	2.4
89	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)	31.1	12.5	119	3.7	1.3
90	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)	23.9	12.5	83	2.9	1.3
91	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)	20.5	11.5	66	2.2	1
92	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)	27.3	12.4	68	3.1	1.4
93	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)	13.4	10.5	31	1.5	0.8
94	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)	6.6	8.2	48	1.5	0.3
95	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)	7.1	8	29	1	0.3
96	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)	8.4	9	61	1.1	0.6
97	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)	15.5	10.1	41.5	37	0.6
98	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)	11.3	11	52	3.2	0.8
99	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)	19	11.6	68	3.5	0.8
100	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)	19.2	12.5	62	2.9	1.1
101	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)	27.6	14	60	4.2	1.9
102	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)	4.5	8.5	4	0.8	0.1
103	<i>Poecilia butleri</i> (Jordan, 1889)	2.9	5.9	10.2		0.1
104	<i>Poecilia butleri</i> (Jordan, 1889)	1.4	4.8	11.4		0.2
105	<i>Poecilia butleri</i> (Jordan, 1889)	4.1	6	16.5		0.1
106	<i>Poecilia butleri</i> (Jordan, 1889)	2.8	5.8	15.8		0.1
107	<i>Poecilia butleri</i> (Jordan, 1889)	2.9	6	12.2		> 0.1
108	<i>Centropomus viridis</i> (Lockington, 1877)	8.3	10	4.3	1.5	0.2
109	<i>Centropomus armatus</i> (Gill, 1863)	10.2	11.1	6.1	1.1	0.3
110	<i>Mugil curema</i> (Valencienne, 1836)	19	13.4	31		1
111	<i>Mugil curema</i> (Valencienne, 1836)	24.9	14.1	39		1.3
112	<i>Astatheros macracanthus</i> (Günther, 1864)	23.2	10.7	28	1.4	0.7

# Informe final proyecto de investigación 2021

Dirección General de Investigación –DIGI-

113	<i>Penaeus vannamei</i> (Boone, 1931)	3.9	9	4.2		0.3
114	<i>Penaeus vannamei</i> (Boone, 1931)	5.5	10	4.2		0.4
115	<i>Penaeus vannamei</i> (Boone, 1931)	3	8	4		0.1
116	<i>Penaeus vannamei</i> (Boone, 1931)	3.3	8.6	4		0.1
117	<i>Penaeus vannamei</i> (Boone, 1931)	6.3	10.1	4.7		0.2
118	<i>Penaeus vannamei</i> (Boone, 1931)	6.1	10.5	4.5		0.2
119	<i>Centropomus robalito</i> (Jordan & Gilbert, 1882)	4.1	8.3	4.2	1.2	0.2
120	<i>Centropomus robalito</i> (Jordan & Gilbert, 1882)	5.6	9.2	4.6	0.9	0.2
121	<i>Centropomus robalito</i> (Jordan & Gilbert, 1882)	4.7	8.5	2.9	0.6	0.2
122	<i>Centropomus robalito</i> (Jordan & Gilbert, 1882)	5.2	8.5	5	1	0.2
123	<i>Centropomus robalito</i> (Jordan & Gilbert, 1882)	5.4	8.6	5.9	0.7	0.2
124	<i>Centropomus robalito</i> (Jordan & Gilbert, 1882)	5.9	9	5.3	1.1	0.2
125	<i>Centropomus robalito</i> (Jordan & Gilbert, 1882)	5	8.4	4	0.6	0.2
126	<i>Centropomus robalito</i> (Jordan & Gilbert, 1882)	6.1	8.7	5	1	0.2
127	<i>Centropomus robalito</i> (Jordan & Gilbert, 1882)	5.9	9.2	7.1	1.1	0.2
128	<i>Centropomus robalito</i> (Jordan & Gilbert, 1882)	4.4	8	5.2	1	0.2
129	<i>Centropomus armatus</i> (Gill, 1863)	6.8	9.5	5.4	1	0.2
130	<i>Centropomus armatus</i> (Gill, 1863)	4.6	8.3	6.6	1	0.2
131	<i>Centropomus armatus</i> (Gill, 1863)	5.9	9	3.6	1.1	0.2
132	<i>Centropomus armatus</i> (Gill, 1863)	4.7	8.1	5.5	1.1	0.2
133	<i>Centropomus armatus</i> (Gill, 1863)	4.7	8.2	5.1	0.9	0.1
134	<i>Centropomus armatus</i> (Gill, 1863)	5.3	8.6	5.2	0.9	0.2
135	<i>Centropomus armatus</i> (Gill, 1863)	4.9	8.5	4	0.8	0.2
136	<i>Centropomus armatus</i> (Gill, 1863)	7.2	9.4	6.6	2	0.2
137	<i>Centropomus armatus</i> (Gill, 1863)	5.7	9	5.7	1.5	0.2
138	<i>Centropomus armatus</i> (Gill, 1863)	4.7	8.1	5	0.9	0.2
139	<i>Centropomus armatus</i> (Gill, 1863)	3.3	8	3	0.7	0.1
140	<i>Centropomus armatus</i> (Gill, 1863)	3.9	7.6	4.4	0.8	0.1
141	<i>Centropomus armatus</i> (Gill, 1863)	4.6	8.4	5	0.7	0.2

# Informe final proyecto de investigación 2021

Dirección General de Investigación –DIGI-

142	<i>Centropomus armatus</i> (Gill, 1863)	6.2	9.2	5.2	0.6	0.3
143	<i>Centropomus armatus</i> (Gill, 1863)	3.9	8	5	0.9	0.2
144	<i>Amphylopus trimaculatus</i> (Günter, 1867)	5	7	7	1	0.1
145	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)	10.9	9.2	42	2.3	0.4
146	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)	16.4	10.6	42.5	3	0.7
147	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)	12.1	9.4	40	1.5	0.4
148	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)	12.7	9.7	33.5	2.5	0.5
149	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)	18.9	10.5	48	2	0.7
150	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)	11.6	10.9	31	4.1	0.8
151	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)	17.2	10.4	45	2.2	0.8
152	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)	17.7	11.7	77	4.5	1.1
153	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)	17.1	10.5	36	2.5	0.6
154	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)	15.3	11.6	42	4.1	0.9
155	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)	16.8	13	60	3.2	1.1
156	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)	18.6	10.8	45	4.5	0.8
157	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)	20.3	10.9	55	4.2	1
158	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)	19.1	10.9	43	3.5	0.6
159	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)	19.2	11.2	52	4.2	0.8
160	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)	20	12.8	72	3.5	1.5
161	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)	20.5	13	69	3.5	1.3
162	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)	27.6	15.5	65	4	2.2
163	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)	46.3	16	105	4.8	1.8
164	<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson, 1844)	59.6	18.7	66.5	4.8	3.8
165	<i>Centropomus armatus</i> (Gill, 1863)	5	8.1	4.1	1.2	0.2
166	<i>Centropomus armatus</i> (Gill, 1863)	4	8.4	4	1	0.2
167	<i>Centropomus robalito</i> (Jordan & Gilbert, 1882)	4.8	8.5	3.7	1.1	0.2
168	<i>Centropomus armatus</i> (Gill, 1863)	6	9.2	4.1	1	0.2

## 13.2 Discusión de resultados

### 13.2.1 Discusión de parámetros físicos y químicos

El valor del potencial de hidrógeno **pH** promedio medido en los 4 muestreos realizados indica que el agua presenta un valor normal neutro (Cuadro 4), con un promedio de 7.447 unidades de pH. Durante el cuarto muestreo se puede observar que se presenta el valor más alto medido con un valor de 8.29 en el sitio ubicado en El Pumpo. En promedio el menor valor de pH ocurrió en el tercer muestreo con un promedio de 6.957 unidades. Esto puede ser debido al arrastre de material húmico y otras sustancias, provocado por las lluvias que arrastran material particulado desde la cuenca del canal de Chiquimulilla. Durante el cuarto muestreo se presenta en promedio el mayor valor con 7.989 unidades de pH. Esto puede ser debido a que la columna de agua ha disminuido considerablemente y se han concentrado las sales disueltas, provocando el aumento del valor de pH. El sitio que presenta en promedio el mayor valor de pH es Puente Grande, y el menor valor se presenta para el punto ubicado en Agua Dulce.

El **potencial de óxido reducción** promedio medido en los muestreos fue de 32.5 mili voltios **mV** (Cuadro 5), el cual en todas las mediciones presenta valores negativos, lo que indica que se realizan procesos de reducción en el medio. Al realizarse procesos de reducción se alcaliniza el agua, produciéndose iones  $\text{OH}^-$ , lo que mide la actividad de los electrones, que es análogo al valor de pH, que mide la actividad de los protones. Esto puede verificarse con el valor de pH en el primer muestreo en el sitio de Puente grande con el valor más bajo de potencial Redox de -75.2 y un valor de pH de 8.156, y un valor promedio Redox de -58.8 y el valor más alto en promedio de 7.940. En el cuarto muestreo se observa un valor de -62.6 para el potencial redox y el mayor valor de pH de 8.29 que es el valor más alto de todos los valores medidos.

La **temperatura** del agua del canal de Chiquimulilla tiene en promedio un valor de 30.0°C (Cuadro 6), lo que es normal para un sistema tropical. En promedio, el cuarto muestreo es el que tiene la temperatura más baja, debido a la época en la que se hizo el muestreo (febrero de 2022 durante el cual hubo bajas temperaturas, reportadas por deshielos a nivel mundial). El mayor valor de temperatura se midió durante el segundo muestreo realizado durante el mes de junio de 2021 con un valor de 32.2°C; durante el mes de junio también se midieron las temperaturas más altas de los cuatro muestreos realizados con un promedio de 31.2°C. El sitio que presentó la mayor temperatura en promedio fue la entrada a Güiscoyol (30.6°C) y la menor temperatura en el Pumpo (29.4°C).

El **oxígeno disuelto** (Cuadro 7) presenta una disminución durante el segundo muestreo durante el mes de junio y un alza para el tercer y cuarto muestreos (octubre 2021 y febrero 2022). La cantidad de oxígeno disminuye debido a que la columna de agua disminuye, el valor de la temperatura del agua aumenta y este escapa a la superficie, además, que se presenta un menor movimiento del agua y esto provoca que se disuelva menor cantidad de oxígeno desde la superficie, así como la concentración de otras sustancias que necesitan oxígeno para cambiar sus estados de oxidación, lo que provoca una disminución. El mismo efecto puede observarse en la medición de **oxígeno en porcentaje** (Cuadro 8) el cual presenta la menor concentración en el mes de junio 2021 y la mayor para el mes de febrero de 2022. El sitio que presenta la menor concentración en promedio, de oxígeno en mg/L y porcentaje es San Pedro y el que presenta mayor concentración en promedio es Rama Verde.

Para la medición de **conductividad**, que es la capacidad del agua para conducir la corriente eléctrica, por medio de los iones que se encuentran disueltos en ella, y es una medida indirecta de la concentración de las sales disueltas. En las mediciones realizadas (Cuadro 9), se observa una baja durante el tercer muestreo realizado durante el mes de octubre con un valor promedio de 0.5 mS/cm, que ocurre durante la época lluviosa, siendo septiembre y octubre los meses más lluviosos. Esto refleja que la columna de agua afecta la disolución de material en el agua, disminuyendo la cantidad de sales disueltas que puede conducir la electricidad, al tener en promedio una columna de agua mayor con promedio de 1.28 metros la mayor medida alcanzada durante los muestreos. El sitio que presenta en promedio la menor conductividad es Puente Grande (2.86 mS/cm), mientras que Monterrico presenta la mayor conductividad con un valor de 27.03 mS/cm

La **salinidad** en el agua también se relaciona con la capacidad de conducir la electricidad debido a las sales que se encuentran disueltas, que también se ven afectadas por la temperatura del medio. Ya que a mayor temperatura habrá mayor facilidad para la disolución de las sales. La mayor **salinidad** se midió durante el cuarto muestreo en febrero de 2022, la cual presenta en promedio un valor de 10.05 ‰. Esta ocurre cuando la columna de agua disminuye (0.74 m) y el material disuelto en el agua aumenta su concentración. El sitio que presenta en promedio la mayor salinidad es la entrada a El Matadero con un valor de 4.84 ‰. En promedio el segundo muestreo fue el que presentó la menor salinidad, durante el mes de junio de 2021, que es cuando se presenta la precipitación más alta con 271.8 mm (INSIVUMEH, 2021)

La **visibilidad** en la columna de agua se ve disminuida cuando se presentan partículas en suspensión, ya que dependiendo del tamaño de partícula o de la densidad de las mismas, estas partículas flotan reduciendo la claridad del agua o el ingreso de luz en la columna. Mientras mas turbia sea un agua, menos visibilidad se tendrá y menor cantidad de luz ingresa a la columna de agua.

De las mediciones realizadas durante los cuatro muestreos, el cuarto muestreo (febrero de 2022) es el que presenta la menor en la visibilidad con un promedio de 0.22 m (Cuadro 10), presentando en el sitio ubicado en la Avellana la menor visibilidad para todas las mediciones realizadas con un valor de 0.10 m. Durante el segundo muestreo realizado en el mes de junio de 2021, se presenta el promedio una visibilidad de 0.32 m, que se debe al arrastre y lavado de las superficies terrestres por el agua de lluvia, ya que durante este mes ocurrió la mayor precipitación de la estación lluviosa. Durante el mes de octubre de 2021 se obtuvo un incremento en la visibilidad que llegó en promedio a un valor de 0.98 m. Esto se debe a que durante este mes hubo mayor cantidad de agua en el canal, con una profundidad en promedio de 1.28 m, lo que causó una dilución del material particulado y por lo tanto una mayor visibilidad e ingreso de luz.

La **profundidad** del agua se refiere a la masa de agua que se encuentra por debajo de la superficie del cuerpo de agua, en este caso el canal de Chiquimulilla. De las mediciones realizadas durante la ejecución del proyecto se puede observar que el mes con mayor profundidad de columna de agua es el mes de octubre de 2021 (Cuadro 11), con una profundidad promedio 1.28 m, mientras que el sitio con la mayor profundidad promedio fue el sitio ubicado en San Pedro con un valor de 1.49 m, y la menos en Puente Grande con un valor de 0.51 m. El sitio que presentó la menor profundidad de todas las mediciones realizadas fue la Entrada al Matadero, con una profundidad de 0.19 m durante el mes de junio de 2021; mientras que el sitio que presentó la mayor profundidad fue el sitio ubicado en Agua Dulce durante el mes de octubre de 2021. Durante el mes de octubre se presenta en general en todos los sitios una mayor columna de agua lo que está relacionado con la época lluviosa mes en el que se presentó una mayor precipitación pluvial.

### 13.2.2 Discusión de nutrientes, especies de nitrógeno y fósforo

La concentración de nitrógeno de **amonio**, está relacionada con contaminación fecal inmediata, y se puede observar que en todos los muestreos se encontraron concentraciones apreciables de nitrógeno de amonio, lo que también se puede corroborar con los análisis microbiológicos realizados, en donde se observa que existe contaminación por coliformes totales y por *Escherichia coli*. En los resultados (Cuadro 12) se puede observar que en promedio el sitio que presenta mayor concentración es el que se ubica en la Entrada a Matadero con un valor promedio de 0.0658 mg/L; mientras que el sitio con el valor promedio más bajo es el que se encuentra en Puente Grande con un valor de 0.0337 mg/L. El muestreo que presenta en promedio el menor valor es el que se realizó durante el mes de abril de 2021 con un valor de 0.0124 mg/L y el que se realizó en el mes de junio 2021 es el que presenta el valor promedio más alto con un valor de 0.0807 mg/L.

El nitrógeno de **nitrito** se produce por la oxidación del nitrógeno de amonio y nitrito que pueda ser arrastrado de la cuenca o biodegradado a partir del nitrógeno de nitrato presente, y representa material disponible para el crecimiento de biota en el agua, por ser un anión que está en forma disponible. El nitrógeno de nitrito también se utiliza como un indicador de contaminación fecal en estudios de calidad de agua debido a que si se ingiere agua contaminada con nitrógeno de nitritos esta puede causar metahemoglobinemia y disminuir la cantidad de oxígeno que llega al torrente sanguíneo. En los resultados se puede observar que en promedio el sitio que presenta mayor concentración es el que se ubica en la Entrada a Matadero con un valor promedio de 0.0135 mg/L (Cuadro 13); mientras que el sitio con el valor promedio más bajo es el que se encuentra en Puente Grande con un valor de 0.0092 mg/L. El muestreo que presenta en promedio el menor valor es el que se realizó durante el mes de abril de 2021 con un valor de 0.0045 mg/L y el que se realizó en el mes de junio 2021 es el que presenta el valor promedio mas alto con un valor de 0.0201 mg/L.

El **nitrógeno total** es la suma del nitrógeno en las diversas formas que pueda encontrarse en un cuerpo de agua (nitrógeno orgánico y las diversas especies de nitrógeno como nutrientes). La importancia de su medición se debe a que altas concentraciones de nitrógeno pueden causar eutrofización en los cuerpos de agua, por la alta producción que pueden provocar al estar especies disponibles para su consumo. Además, puede causar otros problemas relacionados con problemas ambientales en los ecosistemas acuáticos ya que favorecen el crecimiento de organismos acuáticos, fitoplancton, peces, plantas que pueden llegar a producir problemas de contaminación. Durante las mediciones realizadas en la presente investigación (Cuadro 14) se puede observar que el mayor promedio en concentración es para el sitio ubicado en San Pedro, y el menor promedio para el sitio ubicado en la Avellana. El menor valor medido durante los muestreos corresponde a Agua Dulce con un valor de 0.0513 mg/L y el mayor valor para la entrada a Matadero con un valor de 0.2728 mg/L.

El **fósforo de ortofosfatos** es un parámetro crítico en estudios de calidad de agua, ya que es un nutriente esencial para los organismos vivos, además de ser un parámetro que también es considerado como elemento que causa eutrofización en el medio acuático. Durante las mediciones realizadas (Cuadro 15), el promedio más alto fue de 0.0956 para el sitio ubicado en la entrada a Matadero. El promedio más bajo corresponde al sitio ubicado en Puente Grande. El muestreo que presenta en promedio el valor mas bajo fue el que se hizo durante el mes de abril de 2021 y el del mes de octubre de 2021 fue el que presentó los valores más elevados con un promedio de 0.0960. El sitio que presentó el valor más bajo de todas las mediciones fue el ubicado en Puente Grande, medido durante el mes de junio de 2021 y el mayor valor medido fue el sitio ubicado en la entrada a Matadero durante el mes de febrero de 2022, con un valor de 0.1509 mg/L.

El **fósforo total** incluye diferentes especies de fósforo inorgánicas y orgánicas, las cuales después de un tratamiento oxidativo se miden como fósforo de ortofosfatos. Especies de fósforo pueden provenir de actividades antropogénicas por medio de aguas residuales o por escorrentía del suelo en áreas agrícolas, de donde una parte de los fertilizantes utilizados llega a los cuerpos de agua por lavado del suelo y causar crecimiento de plantas como la *Eichornia crassipes* (ninfa o helecho acuático) presente en el canal de Chiquimulilla y que puede causar impacto ambiental y económico al cubrir totalmente el lecho del canal y dificultar el paso de lanchas o dificultad para pescar por parte de los pobladores de la región. En las mediciones realizadas durante los muestreos (Cuadro 16), se puede observar que el mayor promedio obtenido fue para el sitio ubicado en la entrada a Güisocoyol con un valor de 0.1696 mg/l, mientras que el menor valor promedio fue para el sitio ubicado en Puente Grande con un valor de 0.0662 mg/l. De todos los valores medidos el menor valor fue en el sitio ubicado en Monterrico, para el muestreo realizado en abril de 2021 con un valor de 0.0256 mg/L y el mayor valor fue para la entrada a Güisocoyol durante el mes de octubre de 2021. Según la concentración de fósforo total medido el cual está entre el rango de 0.02 – 1 mg/L se puede considerar que los valores promedio medidos todo el sistema del canal medido se encuentra en un estado eutrófico, ya que cuenta con altos contenidos de nutrientes, lo que ocasiona una alta carga de producción vegetal que se puede observar a lo largo de todo el sistema del canal.

La relación entre el nitrógeno total y el fósforo total puede dar información relacionada con el nutriente limitante para el crecimiento de las diferentes especies de biota que se encuentran en un ecosistema. En la presente investigación, la relación tiene como promedio máximo un valor de 2, lo que indica que es el nitrógeno el elemento limitante (Cuadro 17). Una relación N/P menor a 7.2 indica que el nitrógeno es el agente limitante (Sierra, 2011).

### 13.2.3 Discusión de demanda bioquímica de oxígeno

La **demanda bioquímica de oxígeno** de 5 días indica la cantidad de oxígeno que las bacterias y otros seres vivos consumen en 5 días, cuando el agua se degrada de forma aeróbica, y es una medida de las sustancias orgánicas que se degradan en el agua. Los resultados de este parámetro se presentan en el Cuadro 18. Durante el muestreo realizado en el mes de abril, se presenta el mayor valor promedio (5.51 mg/L) con una tendencia a disminuir hacia el tercer muestreo. Esto es congruente con la dilución que ocurre durante el periodo lluvioso, cuando aumenta la columna de agua y se diluye la cantidad de sustancias presentes en el agua. En general, los sitios que presentan mayor cantidad de DBO<sub>5</sub> son Rama Verde con un valor de 6.45 mg/L y la Avellana con un valor de 4.90. El resto de los sitios de muestreo presentan valores similares en promedio con valores entre 2.05 y 3.9 mg/L.

## 13.2.4 Discusión de sólidos

Los **sólidos** reportados (Cuadro 19, 20, 21 y 22), indican en general que durante los dos primeros muestreos se encontraba mayor cantidad de sustancias disueltas en el agua, lo que se relaciona también con la conductividad que presenta mayores valores.

## 13.2.5 Discusión de parámetros microbiológicos

Los cuerpos de agua pueden tener una gran cantidad de microorganismos. Estos microorganismos pueden ser organismos patógenos, los cuales pueden transmitir enfermedades gastrointestinales, si se consume el agua contaminada.

Los niveles de **coliformes totales** en el Canal de Chiquimulilla durante los muestreos pueden observarse en el cuadro 23, en donde se observa que todos los sitios de muestreo presentan contaminación, siendo el sitio ubicado en la entrada a la laguna Rama Verde la que presenta la menor contaminación, por la ubicación en la que se encuentra. El resto de los sitios de muestreo presentan alta carga de coliformes, lo que puede afectar la salud de la población si no se toman las medidas necesarias, si toman el agua del canal como agua de consumo humano.

Al contener el agua *Escherichia coli*, la población que hace uso del agua o come peces, camarones y otros mariscos presentes pueden sufrir de enfermedades gastrointestinales, que afectan mayoritariamente a niños y adultos mayores, pudiendo provocar daños severos en la salud de la población. Los mayores niveles de *E. coli* encontrados en este estudio correspondieron al segundo muestreo (Cuadro 24). Además, se puede observar que se encontró presencia de *Shigella* en dos sitios de muestreo durante el primer muestreo (El Pumpo y Agua Dulce), realizado en el mes de abril (Cuadro 25), lo que pone en riesgo la salud de la población al ser esta bacteria patógena, causante de infección intestinal, provocando diarrea y transmitiéndose entre personas por vía fecal-oral y propagándose por el agua a los alimentos, además de demostrar que las condiciones sanitarias del agua son deficientes. No se encontró contaminación por *Salmonella* en los sitios de muestreo, durante los muestreos realizados en el mes de junio y octubre de 2021 (Cuadro 26).

## 13.2.6 Discusión de metales

Respecto a la contaminación por metales ecotóxicos, no se detectaron concentraciones apreciables de cobre y plomo en el lomo de los peces, pero si se encontraron cantidades apreciables de zinc y cadmio. En promedio se encontraron 71.66 mg/Kg de zinc y 5.59 mg/Kg de cadmio (Cuadro 27), ambas concentraciones superan los límites establecidos por diferentes legislaciones internacionales (Cuadro 2). Así, las especies ícticas de este ecosistema presentan bioacumulación, lo que puede afectar a la población que los consume, especialmente en el caso del cadmio, ya que muchos de los pobladores viven de la pesca para su subsistencia.

Los resultados obtenidos de las concentraciones de los metales analizados en peces, no sobrepasan los límites permisibles sugeridos por la agencia Brasileña de legislación alimenticia (BFL), Agencia Nacional de Vigilancia Sanitaria de Brasil (ANVISA) y la Organización Mundial de la Salud (OMS), para el cobre de 30 mg/kg, para el zinc de 50 y 66 mg/kg para la BFL y OMS, para el cadmio si se sobrepasa la recomendación de ANVISA y de la OMS, con rangos entre 0.05 – 0.30 y 0.2 – 2.5, respectivamente.

## 13.2.7 Discusión de microplásticos

La mayor cantidad de microplásticos encontrados en sedimentos (Cuadro 28) son fragmentos con un total de 53 fragmentos, con 15 fragmentos transparente/opaco, 14 blancos y 12 rojos, y en menor proporción, azul, verde, negro y amarillo. Se encontró un total de 28 fibras, con un total de 14 fibras azules y 8 rojas y en menor proporción las de color verde, negro y transparente. Además se encontró un total de 5 láminas, 2 microesferas y 9 espumas. Estos resultados ponen de manifiesto que una fracción de los microplásticos transportados al Canal de Chiquimulilla se acumulan en los sedimentos, pudiendo ser resuspendidos y afectar a la ictiofauna, por perturbación de fondo.

Se determinaron **microplásticos** en tractos de peces (Cuadro 29), habiéndose cuantificado **67 fibras**, 19 de color rojo, 18 azules, 17 transparentes, 6 verdes, 5 negras y dos amarillas. Se cuantificó un total de **37 fragmentos**, de los cuales 16 fueron rojos, 10 transparentes, 7 azules, 2 verdes, 1 amarillo y 1 blanco. Las **láminas fueron 30** en total, de las cuales la mayoría presentó color rojo (22 unidades), 4 de color gris, 2 transparentes, 1 blanca y 1 negra. Las espumas fueron 6 en total de color blanco opaco. Se encontró una esponja verde. El color de los microplásticos que tuvo mayor frecuencia fue el rojo, con 57 unidades, a continuación los transparentes con 29 unidades, seguido del color azul con 25 microplásticos, 9 verdes, 6 negros 3 rojos y 4 grises. En las branquias (Cuadro 30) de los peces se colectaron un total de 41 microplásticos de los cuales 30 eran fibras, 10 fragmentos y 1 lámina. Las fibras son 12 de color azul, 8 rojas, 7 negras y 3 verdes. Para los fragmentos se cuantificaron 7 de color rojo, 2 azules y 1 verde y se encontró 1 lámina de color gris. Es así como la presencia de microplásticos

en los peces puede representar un riesgo para los consumidores, que pueden ingerir estos contaminantes al consumir el pescado del Canal de Chiquimulilla.

Las elevadas concentraciones de nutrientes, especies de nitrógeno y fósforo, así como la gran cantidad de sólidos existentes en el canal de Chiquimulilla y Reserva de Usos Múltiples Monterrico confirman que el estado del cuerpo de agua está contaminado y en estado eutrófico, confirmado por los altos valores de fósforo y la poca visibilidad durante todos los muestreos realizados.

Se encontró concentraciones de metales ecotóxicos o traza en el tejido muscular de los peces colectados en el Canal de Chiquimulilla y Reserva de Usos Múltiples Monterrico, encontrándose presencia de cadmio, cobre y zinc en los peces colectados. El plomo no se detectó bajo las condiciones del análisis realizado. La presencia del cadmio en altas concentraciones representan un riesgo para los consumidores.

El 60% de los peces muestreados en el Canal de Chiquimulilla y Reserva Natural de Usos Múltiples Monterrico, presentan microplásticos en el tracto digestivo. Se cuantificó un total de 141 microplásticos en los tractos digestivos de los peces, siendo las fibras los microplásticos de mayor presencia con 67 unidades, 37 fragmentos, 30 láminas, 6 espumas y 1 esponja. En las branquias también se detectaron microplásticos en menor cantidad, demostrando así los efectos negativos en la fauna acuática y el riesgo que puede tener para la salud humana, por los posibles efectos que pueda tener su consumo, ya que el conocimiento sobre dichos efectos aún es limitado.

## 14. Referencias

- Aga, D. (2008) Fate of Pharmaceuticals in the Environmental and in Water Treatment Systems. CRS Press Taylor and Francis Group, New York.
- APHA, AWWAA, WEF. (1998) Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20 ed. American Public Health Association, Washington, DC.
- Bicudo C.; Bicudo D. (2004). Amostragem em Limnologia. RiMa Editora. ISBN -85-86552-82-8. Sao Carlos, Brasil.
- Bnamericas. (09 de abril 2021). Deficiente gestión de residuos de Guatemala genera oportunidades. *Bnamericas*. <https://www.bnamericas.com/es/reportajes/deficiente-gestion-de-residuos-de-guatemala-genera-oportunidades>
- Boy, A. (2015). Determinación de metales pesados en agua, peces, almejas e *Hidrylla verticillata* del lado de Izabal. Tesis, USAC.
- Bustos, C. (2009). La problemática de los desechos sólidos. *Economía*, (27), 121-144.
- CETESB. (1990) Implantação de Métodos para Avaliação da bioconcentração de agentes químicos em peixes. Resultados iniciais. Relatório Técnico CETESB, São Paulo.
- Esteves, F.A. (1988) Fundamentos de Limnologia. São Paulo:FINEP.
- Jabeen, K., Su, L., Li, J., Yang, D., Tong, Ch., Mu, J., & Shi, H. (2017). Microplastics and mesoplastics in fish from coastal and fresh waters of China. *Environmental Pollution*, 221:141-149.
- Lefebvre, C., Saraux, C., Heitz, O., Nowaczyk, A., & Bonnete, D. (2019). Microplastics FTIR characterization and distribution in the water column and digestive tracts of small pelagic fish in the Gulf of Lions. *Marine Pollution Bulletin*, 142:510–519.
- Li, J., Liu, H., & Paul Chen, J. (2018). Microplastics in freshwater systems: A review on occurrence, environmental effects, and methods for microplastics detection. *Water Research*, 137, 362–374. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.12.056>
- Li, Sh-W. & Lin, A.Y-Ch (2015) Increased acute toxicity to fish caused by pharmaceuticals in hospital effluents in a pharmaceutical mixture and after solar irradiation. *Chemosphere*, 139, 190-196.
- López, N. (2018). Contaminación de microplásticos en la superficie del lago Atitlán, Sololá. Guatemala: Universidad del Valle de Guatemala.
- Mason, C.F. (1991) Biology of freshwater pollution. 2 Ed. John Willey and Sons, New York.
- Masura, J., Baker, J., Foster, G., & Arthur, C. (2015). Laboratory methods for the analysis of microplastics in the marine environment: Recommendations for quantifying synthetic particles in waters and sediments. NOAA Technical Memorandum NOS-OR&R-48. Silver Spring: NOAA Marine Debris Division.
- Mazariegos-Ortíz, C., de los Ángeles Rosales, M., Carrillo-Ovalle, L., Cardoso, R. P., Muniz, M. C., & dos Anjos, R. M. (2020). First evidence of microplastic pollution in the El Quetzalito sand

- beach of the Guatemalan Caribbean. *Marine Pollution Bulletin*, 156, 111220. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111220>
- Mazariegos-Ortíz, C., García-Arroyave, L., Marroquín-Mora, C. (2020). Contaminación por microplásticos en playas del Pacífico de Guatemala. *Ciencia, Tecnología y Salud*. (Sometida a publicación).
- Mazariegos Ortíz, C. H., Xajil-Sabán, M., Blanda, E. ., & Delvalle-Borrero, D. (2021). Ocurrencia de microplásticos en el tracto digestivo de peces de la Reserva Natural de Usos Múltiples Monterrico, Guatemala: *Ecosistemas*, 30(2), 2188. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2188>
- Marine Debris Program. (2019). Impacts of Microplastics Types of Microplastics NOAA Marine Debris Program Involvement. [www.MarineDebris.noaa.gov](http://www.MarineDebris.noaa.gov)
- Mejia, A. (2019). Contaminación por microplásticos en un lago endorreico de tierras bajas: El caso de Petén Itzá (Issue 2001). Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Muñoz, M. (2016). Cuantificación de metales (cobre, cadmio, plomo, zinc, cromo y níquel), en núcleos de sedimentos del Lago de Atitlán. Informe Final, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Oliva, B., Pérez, J.F., Del Cid, B., Martínez F.J., & Valladares, B. (2010). Estudio de contaminantes ecotóxicos en agua y organismos acuáticos del Lago de Atitlán. Informe Final Proyecto DIGI. 45 pp.
- Oliva, B.E., Pérez Sabino, J.F., Herrera, K.L., Martínez Rojas, O.E., De León Arana, J.L, Rodas, Arzet, A.M., Hernández Catú, J.P. (2007) Evaluación de la Calidad Fisicoquímica y Bacteriológica del agua del Canal de Chiquimulilla y la Reserva Natural de Usos Múltiples Monterrico. Informe final. Digi USAC.
- Oliva, B., Pérez, J.F., Valladares, B. (2011). Evaluación de la eutrofización en los lagos Atitlán y Petén Itzá de Guatemala. En XIII Congreso Brasileiro de Limnologia. Natal, septiembre de 2011.
- Oliva Hernández, B., Muñoz Wug, M., García, D., Rosales Melgar, M., & Santos Ruiz, F. (2021). Determinación de microplásticos y tierras raras en agua y peces del lago de Amatitlán. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala-Dirección General de Investigación.
- OMS. (1989) Guías para la Calidad del Agua Potable. Organización Mundial de la Salud, Washington. 132pp.
- ONU Medio Ambiente. (2018). Plásticos De Un Solo Uso. In *Technology for Enviroment* (Vol. 227, Issue 5). <https://doi.org/10.1038/s41415-019-0765-x>
- Pain, D.J. (1995) *Lead in the environment*. En *Handbook of Ecotoxicology*. Eds. Hoffmann, D.J., Rattner, B.A. Burton, G.A., Cairns Jr., J. CRC Press, Boca Raton, Florida.
- Parker, B., Andreou, D., Green, I. & Britton, J. (2021). Microplastics in freshwater fishes: Occurrence, impacts and a future perspective. *Fish and Fisheries*, 22, 467-488. DOI: 10.1111/faf.12528
- Pérez Sabino, F., Valladares, B., Hernández, E., Oliva, B., Del Cid, M., Jayes Reyes, P. (2015). Determinación de arsénico y mercurio en agua superficial del lago de Atitlán. *Ciencia, Tecnología y Salud*, 2(2), 37-44.

- PlasticsEurope, 2018. Plastics – the Facts 2018: an Analysis of European Plastics Production, Demand and Waste Data. Available from: <https://www.plasticseurope.org/en>
- Qiao, R., Lu, K., Deng, Y., Ren, H., & Zhang, Y. (2019). Combined effects of polystyrene microplastics and natural organic matter on the accumulation and toxicity of copper in zebrafish. *Science of the Total Environment*, 682, 128-137. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.05.163>
- Ramírez, A., Viña, G. (1998). Limnología Colombiana: Aportes a su conocimiento y estadísticas de análisis. Publicación editada bajo contrato com BP Exploration Company (Colombia) LTD. Fundación Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. ISBN 958-9029-06X.
- Rezende, C.E. (1993) Origem, Transporte e Destino da Materia Organica na interfase fluvio-marinha, sob diferentes condicoes de uso do solo e sua relacao como o transito de poluentes metálicos na baia de Sepetiva- RJ. Tese de Doutorado. Brasil: Instituto de Biofisica, UFRJ.
- Roldán, G. (2003). Bioindicación de la calidad del agua em Colombia: Uso del método BMWP7Col. Ciencia y Tecnología. Editorial Universidad de Antioquia. Colombia.
- Romero, J. (2009). Calidad del agua. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. ISBN 978-958-8060-83-5. Colombia.
- Romero-Oliva, C.; López, N.; Aguilar, A. y Santos Ruiz, F. (2019). Paleoecotoxicología, una herramienta para la reconstrucción del pasado reciente en el Lago de Amatitlán, Guatemala. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala-Dirección General de Investigación.
- Sagastume, L. (2020). Determinación de microplásticos en contenido gastrointestinal del Blue gill (*Lepomis macrochirus*) (Rafinesque, 1819) en el lago Atitlán. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Santos Ruiz, F. (2020). Microplásticos en sedimentos superficiales en el lago de Atitlán, Sololá, Guatemala. Guatemala: AMSCLAE-Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Sierra, C. (2011). Calidad del agua. Evaluación y diagnóstico. Ediciones de la U. Universidad de Medellín. ISBN: 978-958-8692-06-7.
- Silva, C. da; de Oliveira, S.; Borges, C., Cugler, G., Wasserman, J. (2019). Metals and arsenic in marine fish commercialized in the NE Brazil: Risk to human health. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*. <https://doi.org/10.1080/10807039.2018.1529552>
- Spacie, A., McCarty, L., Rand, G.M. (1995) Bioaccumulation and Bioavailability in multiphase systems. *Fundamentals of Aquatic Toxicology-Effects, Environmental Fate and Risk Assessment*. New York:Taylor and Francis. 2 Ed.
- Thiebault, T., Chassiot, L., Fougere, L., Destandau, E., Simonneau, A., Van Beek, P., Souhaut, M., & Chapron, E. (2017) Record of pharmaceutical products in river sediments: A powerful tool to assess the environmental impact of urban management? *Anthropocene*, 18, 47-56.
- Unión Europea (2000). Directiva 2000/60/CE de 23 de octubre de 2000. Publicación Oficial, C513, 23.10.2000.
- Wagner, M., & Lambert, S. (2018). Freshwater Microplastics - Emerging Environmental Contaminants? <https://doi.org/10.1007/978-3-319-61615-5>

Wang, W., Ge, J. & Yu, X. (2019). Bioavailability and toxicity of microplastics to fish species: A review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 189. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.109913>.

Weather Atlas. Previsión meteorológica y clima, Guatemala, Guatemala. <https://www.weather-atlas.com/es/guatemala/guatemala>

Wesch, C., et al. (2013). Towards the suitable monitoring of ingestion of microplastics by marine biota: a review. *Environment Pollution*, 218, 1200-1208.

Wetzel, R. (1981). Limnología. Ediciones Omega, S.A. Barcelona, España.

Wren, C.D., Harris, S., Harttrup, P. (1995) Ecotoxicology of Mercury and Cadmium. Handbook of Ecotoxicology. Eds. Hoffmann, D.J., Rattner, B.A. Burton, G.A., Cairns Jr., J. pp. 392-423.

## 15. Apéndice

Figura 2. Reporte de promedio de días de lluvia por mes y promedio de lluvias durante el año 2021, reportado por INSIVUMEH.

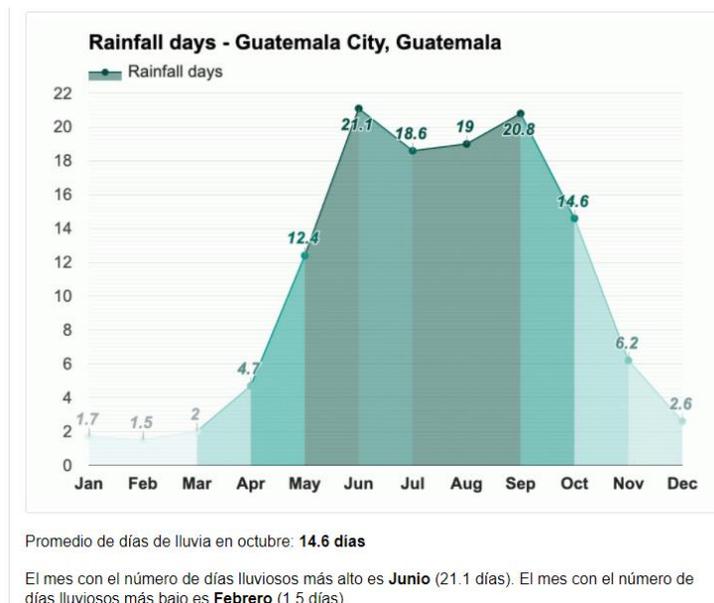
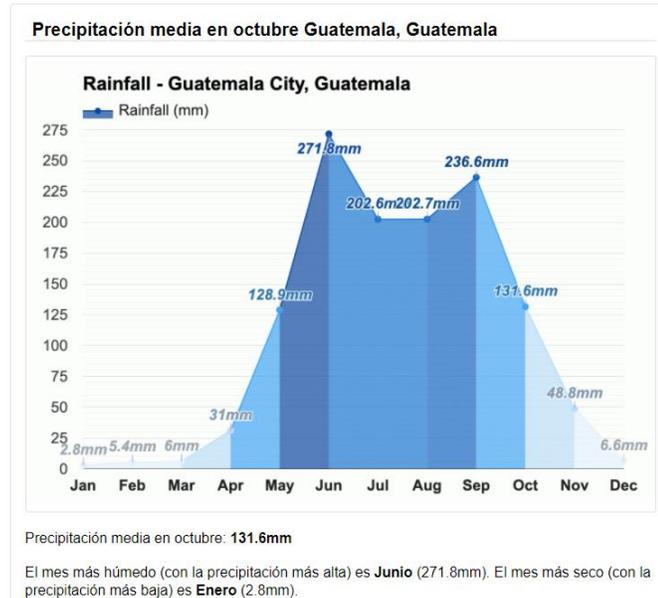


Figura 3. Precipitación media ocurrida durante la época lluviosa en el mes de octubre de 2021, en Guatemala, Guatemala.



Fuente: INSIVUMEH, 2022.

Figura 4. Microplásticos encontrados en muestras de sedimento colectadas en el Canal de Chiquimulilla y Reserva Natural de Usos Múltiples Monterrico.

		
Fotografía 1. Por Marvin Xajil.	Fotografía 2. Por Marvin Xajil	Fotografía 3. Por Marvin Xajil.
Lámina blanca proveniente del sedimento de el embarcadero de Monterrico.	Fragmento transparente proveniente del sedimento del embarcadero de Monterrico.	Fibra azul proveniente del sedimento de Puente Grande.

# Informe final proyecto de investigación 2021

Dirección General de Investigación –DIGI-

		
<p>Fotografía 4. Por Marvin Xajil.</p>	<p>Fotografía 5. Por Marvin Xajil.</p>	<p>Fotografía 6. Por Marvin Xajil.</p>
<p>Fragmento azul identificado en el tracto digestivo de <i>D. latifrons</i>.</p>	<p>Lámina negra identificada en tracto digestivo de <i>D. latifrons</i>.</p>	<p>Esponja identificada en el tracto digestivo de <i>D. latifrons</i>.</p>
		
<p>Fotografía 7. Por Marvin Xajil.</p>	<p>Fotografía 8. Por Marvin Xajil.</p>	<p>Fotografía 9. Por Marvin Xajil.</p>
<p>Fragmento blanco identificado en muestra de sedimento proveniente del embarcadero de Monterrico.</p>	<p>Lamina blanca identificada en muestra de sedimento proveniente del canal de acceso secundario “Agua Dulce”.</p>	<p>Lámina azul identificada en muestra de sedimento proveniente del canal de acceso principal, embarcadero “La Avellana”.</p>
		
<p>Fotografía 10. Por Marvin Xajil.</p>	<p>Fotografía 11. Por Marvin Xajil.</p>	<p>Fotografía 12. Por Marvin Xajil.</p>
<p>Fibra roja identificada en branquias de <i>L. vannamei</i>.</p>	<p>Fragmento verde identificado en branquias de <i>M. curema</i>.</p>	<p>Fibra encontrada en branquia de peces.</p>

# Informe final proyecto de investigación 2021

Dirección General de Investigación –DIGI-

		
Lámina blanca identificada en tranco digestivo de <i>D. latifrons</i> .	Fragmento rojo identificado en el tracto digestivo de <i>D. latifrons</i> .	Fibra identificada en tracto digestivo de <i>D. peruvianus</i> .
		
Fragmento transparente opaco proveniente del sedimento colectado de la laguna Puente Grande.	Espuma amarilla proveniente del sedimento colectado en una rama del canal de Chiquimulilla denominado San Pedro.	Filtrado de muestras de sedimento para determinación de microplásticos
		
Fibra azul.	Esponja (poliuretano)	Fragmento azul
		
Fibra blanca.	Esponja y microesfera	Fragmento verde

Fuente: Datos propios, Proyecto B15-2021.

Figura 5. Identificación, toma de medidas biométricas y almacenamiento de peces para su posterior análisis.

		
<p>La fotografía muestra la actividad de pesaje de los peces y camarones colectados en el Canal de Chiquimulilla y Reserva de Usos Múltiples Monterrico -RUMM.</p>	<p>El músculo de los peces se colocó en papel encerado y a continuación se colocó papel aluminio para su almacenaje en refrigerador.</p>	<p>Identificación y almacenaje del músculo de los peces para su posterior análisis.</p>

Fuente: Datos propios, Proyecto B15-2021.

# Informe final proyecto de investigación 2021

Dirección General de Investigación –DIGI-

Figura 6. Toma de muestras de agua, sedimento y peces en el Canal de Chiquimulilla y Reserva Natural de Usos Múltiples Monterrico (Fotos tomadas por Bessie Oliva).

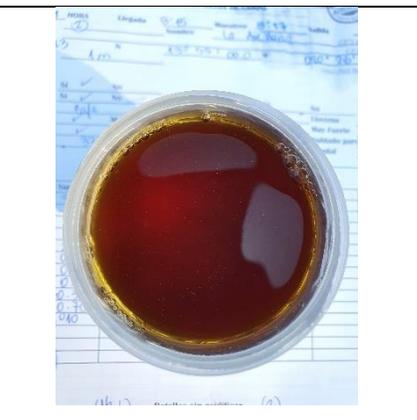
		
<p>Participantes del muestreo: Gabriela Quevedo, Francis Santos, Francisco Pérez</p>	<p>Participantes del muestreo: Carlos Mazariegos, Marvin Xajil y un pescador del área</p>	<p>Participante: Bessie Oliva, Coordinadora del proyecto B15-2021</p>
		
<p>Colecta de muestras de agua con red para análisis posteriores</p>	<p>Colecta de muestras de sedimento para análisis posteriores</p>	<p>Colecta de muestras de peces con atarraya como arte de pesca, para análisis posteriores</p>
		
<p>Muestras de peces colectadas,</p>	<p>Sólidos sedimentables en el canal de Chiquimulilla</p>	<p>Colecta de muestras de fitoplancton, preservada con lugol y formalina</p>

Figura 7.. Proceso de digestión de muestras de peces, en bombas de teflón y baño de arena.

		
<p>Batch de calentamiento de bombas de teflón en baños de arena calentados en estufa o plancha de calentamiento</p>	<p>Calentamiento de bombas de teflón en baño de arena</p>	<p>Mejoramiento del sistema de calentamiento para evitar pérdida de calor por transferencia</p>
		
<p>Nuevo set de muestras para prueba con mayor cantidad de ácido 12 ml y 3 de Peróxido de hidrógeno</p>		

		
<p>Primer batch de muestras digeridas. Se almacenarán para realizar las primeras pruebas de medición para metales.</p>	<p>Bomba de teflón después de un proceso de calentamiento de 24 horas.</p>	<p>Bomba de teflón que presenta derrame de la muestra durante la digestión. Muestra descartada.</p>

Fuente: Datos propios, Proyecto B15-2021.

## 16. Aspectos éticos y legales (si aplica)

No se requirió ninguna licencia para el desarrollo de la presente investigación.

## 17. Vinculación

La Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia administra la RNUM Monterrico a través del CECON, por lo que el estudio permitirá fortalecer los vínculos con las municipalidades y generar información de manejo importante para las municipalidades que tienen jurisdicción en el Canal de Chiquimulilla y RNUM Monterrico. El grupo proponente pertenece a la red RIESCOS de CYTED, en el cual se está desarrollando y homologando metodología para el análisis de contaminantes emergentes en agua y biota, entre ellos los microplásticos y los fármacos, por lo que el proyecto será incluido para su divulgación y posible capacitación de investigadores en el marco de la red y estrechamiento de relaciones con grupos de investigación de México, Universidad de Aveiro, Portugal, España y Brasil.

## 18. Estrategia de difusión, divulgación y protección intelectual

Se hizo una presentación del proyecto y resultados en los talleres que la Universidad de San Carlos de Guatemala organizó en 2021. Además, se preparó dos artículos científicos, uno para publicación en la revista Ciencia, Tecnología y Salud, publicada por la Digi y otro para publicarse en una revista internacional indexada, Ambiente & Agua. Se presentaron los resultados en las comisiones intersectoriales de medio ambiente y Ciencias de la Tierra, el Océano y el Espacio de la SENACYT, en las cuales participa la Escuela de Química.

## 19. Aporte de la propuesta de investigación a los ODS

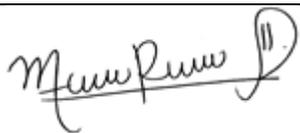
La investigación contribuye al Objetivo 6 de Garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos, especialmente con la meta 6.3 “De aquí a 2030, mejorar la calidad del agua reduciendo la contaminación, eliminando el vertimiento y minimizando la emisión de productos químicos y materiales peligrosos, reduciendo a la mitad el porcentaje de aguas residuales sin tratar y aumentando considerablemente el reciclado y la reutilización sin riesgos a nivel mundial”, en el sentido que se generará información sobre la existencia y niveles de contaminantes, que contribuya a tomar las decisiones por parte de autoridades ambientales y municipales sobre el tratamiento que debe dársele a dichos contaminantes y mejorar la regulación sobre la disposición de los mismos para evitar que lleguen a los cuerpos de agua y en especial, al Canal de Chiquimulilla, donde pueden tomarse medidas para reducir la contaminación local.

Así mismo, con el Objetivo 14 de “Conservar y utilizar sosteniblemente los océanos, los mares y los recursos marinos para el desarrollo sostenible”, especialmente con la meta 14.1 “De aquí a 2025, prevenir y reducir significativamente la contaminación marina de todo tipo, en particular la producida por actividades realizadas en tierra, incluidos los detritos marinos y la polución por nutrientes”, al ser el Canal de Chiquimulilla una transición entre el agua que transporta la contaminación desde la cordillera central y la zona costera agrícola al Océano Pacífico, siendo así importante generar la información sobre los microplásticos y metales ecotóxicos, que contribuya a tomar decisiones para reducir la contaminación del Pacífico de Guatemala, ya que al conocerse los principales contaminantes específicos se pueden orientar la investigación y la inversión en el tratamiento de los mismos.

# Informe final proyecto de investigación 2021

Dirección General de Investigación –DIGI-

## 20. Orden de pago final

Nombres y apellidos	Categoría (investigador /auxiliar)	Registro de personal	Procede pago de mes (Sí / No)	Firma
María de los Ángeles Rosales Melgar	Investigadora	20201110	Si	
Marvin Geraldo Xajil Sabán	Auxiliar de Investigación II	20180582	Si	

## 21. Declaración del Coordinador(a) del proyecto de investigación

El Coordinador de proyecto de investigación con base en el *Reglamento para el desarrollo de los proyectos de investigación financiados por medio del Fondo de Investigación*, artículos 13 y 20, deja constancia que el personal contratado para el proyecto de investigación que coordina ha cumplido a satisfacción con la entrega de informes individuales por lo que es procedente hacer efectivo el pago correspondiente.

<b>Bessie Evelyn Oliva Hernández</b>	<b>Firma</b>
Fecha: 28/02/2022	

## 22. Aval del Director(a) del instituto, centro o departamento de investigación o Coordinador de investigación del centro regional universitario

De conformidad con el artículo 13 y 19 del *Reglamento para el desarrollo de los proyectos de investigación financiados por medio del Fondo de Investigación* otorgo el aval al presente informe mensual de las actividades realizadas en el proyecto (escriba el nombre del proyecto de investigación) en mi calidad de (indique: Director del instituto, centro o departamento de investigación o Coordinador de investigación del centro regional universitario), mismo que ha sido revisado y cumple su ejecución de acuerdo a lo planificado.

# Informe final proyecto de investigación 2021

Dirección General de Investigación –DIGI-

<b>Vo.Bo. Dra. María Eunice Enríquez Cotton</b> <b>Directora Instituto de Investigaciones Químicas y</b> <b>Biológicas -IIQB-</b>	<b>Firma</b>
Fecha: 28/02/2022	

## 23. Visado de la Dirección General de Investigación

<b>Vo.Bo. Ing. Agr. Augusto Saul Guerra Gutiérrez</b> <b>Coordinador del Programa Universitario de</b> <b>Investigación en Recursos Naturales -PUIRNA-</b>	<b>Firma</b>
Fecha: 28/02/2022	

<b>Vo.Bo. Ing. Agr. MARN Julio Rufino Salazar</b> <b>Coordinador General</b> <b>Programas Universitarios de Investigación</b>	<b>Firma</b>
---	--------------

Fecha: 28/02/2022
-------------------